

Il Backbone IP di Telecom Italia Wireline

ALBERTO MARIA LANGELLOTTI

SIMEONE MASTROPIETRO

FEDERICO TITO MORETTI

ANTONIO SOLDATI

Il successo mondiale dei servizi Internet ed Intranet nel mercato delle telecomunicazioni ha spinto, nell'ultimo decennio, gli Operatori del settore ad investire maggiormente nella realizzazione di reti IP/MPLS (*Multi Protocol Label switching*) per trasportare qualunque tipo di servizio.

Oggi, convogliare voce, video e dati su un'unica infrastruttura di trasporto si traduce in un requisito tecnico abbordabile, sfidante ed economicamente vantaggioso in un mercato in continua crescita ed in regime di concorrenza.

Le attuali piattaforme di trasporto IP/MPLS di Telecom Italia Wireline sono nate con questo obiettivo e, nei prossimi anni, estenderanno questo paradigma integrandosi progressivamente con la tecnologia dello strato di trasporto ottico.

Nell'articolo viene descritto il backbone IP/MPLS di Telecom Italia Wireline nel contesto dei servizi offerti, dell'evoluzione architeturale, della qualità del servizio ed, infine, del supporto ai servizi telefonici.

1. Introduzione

“Tra non molti anni la mente umana ed i calcolatori saranno interconnessi molto strettamente e questa alleanza uomo-macchina sarà in grado di pensare così come nessun essere umano ha mai fatto finora, elaborando dati con prestazioni che sono ancora irraggiungibili per le macchine con cui effettuiamo attualmente il trattamento delle informazioni”.

Probabilmente Joseph Carl Robnett Licklider, uno studioso di psicoacustica meglio conosciuto come *Lick*, quando scrisse queste parole, raccolte in un saggio intitolato *“Man-Computer Symbiosis”* (simbiosi uomo-computer) negli anni 60, non immaginava di certo la portata delle sue parole. Neanche quando, nel lontano agosto del 1962, espose per la prima volta all'assemblea dei docenti del MIT

(*Massachusetts Institute of Technology*), la sua idea di una *“Galactic Network”*, immaginava la rete Internet dei nostri giorni: una rete mondiale di computer interconnessi fra loro attraverso i quali tutti potessero accedere facilmente e velocemente a dati e programmi da ogni parte del globo.

Dalla rete ARPANET (figura1), che ne è conseguita, ad oggi, i passi compiuti dalle telecomunicazioni e nel mondo dell'informatica sono stati tanti e non è il caso ovviamente di ricordarli.

Il successo mondiale dei servizi Internet ed Intranet nel mercato delle telecomunicazioni ha cambiato radicalmente il modo di vivere di tutti noi da molti punti di vista. Nel campo degli Operatori tradizionali di telecomunicazioni le conseguenze del successo delle reti Internet hanno avuto un riflesso tecnologico ed economico di grande portata.

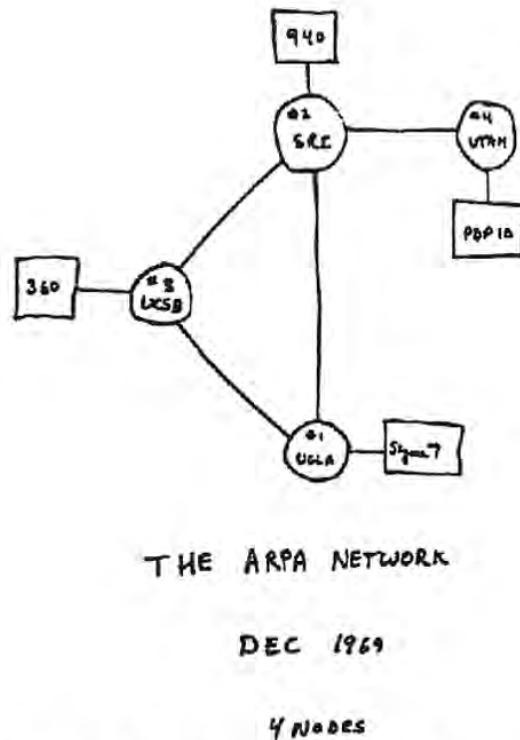


FIGURE 6.2 Drawing of 4 Node Network (Courtesy of Alex McKenzie)

FIGURA 1 ▶ La prima slide sulle reti IP (Fonte: Alex McKenzie).

Qualunque servizio Dati, Voce e Video può essere veicolato oggi da un'unica piattaforma di rete IP/MPLS, un cosiddetto *Backbone unico* per tutti i servizi. Gli impatti riguardano non soltanto i servizi di alto livello, ma anche le tecnologie trasmissive e di commutazione del recente passato, veicolabili dal *Backbone unico*. Convogliare voce, video e dati su un'unica infrastruttura di trasporto dati si traduce oggi in un requisito tecnico abbordabile, sfidante ed economicamente vantaggioso in un mercato in continua crescita e in regime di forte competizione.

Il backbone unico IP/MPLS di Telecom Italia Wireline nasce con questo obiettivo e nei prossimi anni estenderà ulteriormente questo paradigma, integrandosi sempre di più con la tecnologia dello strato di trasporto ottico, sia a livello di piano di controllo che di trasporto delle informazioni a pacchetto.

Nel presente articolo viene descritto il backbone IP di Telecom Italia Wireline nel contesto dei servizi offerti, dell'evoluzione architetturale, della qualità del servizio ed infine del supporto al servizio telefonico. In particolare, viene prima affrontato lo scenario dei servizi IP/MPLS, attualmente offerti alle reti di accesso, per passare poi alla genesi ed all'architettura funzionale e fisica del backbone e quindi alla qualità del servizio offerta concludendo, infine, con l'impiego del backbone per i servizi telefonici Class4 e Class5.

2. I servizi IP/MPLS/TE per le reti di EDGE/GATEWAY

La piattaforma di trasporto IP/MPLS di Telecom Italia Wireline è composta da due backbone nazionali concepiti all'inizio del 2001 con due finalità diverse ma oggi convergenti:

- *OPB (Optical Packet Backbone)*, una rete *multi-servizio*, nata come evoluzione della precedente rete IP denominata *IBS (InterBuSiness)* allo scopo di far convergere tutti i servizi dati e voce su un'unica piattaforma;
- *DTC (Data.com backbone)*, una rete dedicata alla sola clientela Executive.

La rete OPB è stata modellata su 32 PoP per concentrare tutte le tecnologie di accesso dati attualmente in campo nei principali nodi trasmissivi nazionali.

La complessa operazione di migrazione dalla precedente architettura ha richiesto circa tre anni di intense attività di collaudo e di inserimento in rete. Da una semplice rete IP nazionale di Router nata nel 1995 con i circuiti ATM a 34 Mbit/s e a 155 Mbit/s, si è passati ad una rete IP/MPLS poggiata direttamente su uno strato trasmissivo ottico a 2,5 Gbit/s e a 10 Gbit/s, epurata dalla componente di trasporto ATM e con funzionalità e prestazioni innovative che hanno già consentito diversi importanti traguardi. Uno di questi è stato raggiunto nel 2003 con l'offerta di un servizio di trasporto geografico tra i Media Gateway del *BBN (BackBone Nazionale)* dedicati al traffico telefonico su IP, con garanzie di elevata protezione ai guasti trasmissivi, di priorità di trattamento dei pacchetti durante i fenomeni di congestione della rete e di sicurezza rispetto al resto del traffico dati veicolato. Questo traguardo ha consentito la progressiva dismissione della rete telefonica tradizionale nazionale a lunga distanza e l'integrazione del trasporto del traffico dati IP con il traffico telefonico sulla piattaforma OPB [1].

Il prossimo sfidante traguardo è rivolto alle sinergie tra le funzionalità dei backbone dati e la rete di Trasporto ottico nazionale (OTN): realizzare una piattaforma di backbone per tutti i tipi di servizi fondata su due livelli e integrata, a livello di piani di controllo, tra i nodi ottici e i GigaRouter [2].

La rete DTC è stata invece concepita e realizzata negli anni 2000 - 2001 all'interno della *business unit* Data.com con l'obiettivo di offrire alla clientela Executive soluzioni innovative quali le reti di raccolta MAN GbE e le reti privati virtuali (VPN-MPLS).

Oggi la rete OPB costituisce il principale backbone *multiservizio* per tutti i tipi di clientela, mentre la rete DTC è dedicata ancora alla sola clientela Executive. Questo ha consentito di arricchire il portafoglio dei servizi Executive con l'offerta "dual backbone" in grado di garantire più elevati requisiti di affidabilità e di disponibilità di servizio grazie alla presenza di due backbone fisicamente separati ma funzionalmente equivalenti, ciascuno dotato di un piano di controllo distinto.

La figura 2 sintetizza l'articolazione dei servizi ad oggi attivi sulle due reti pubbliche IP/MPLS di Telecom Italia Wireline.

Il backbone OPB supporta servizi di trasporto IP/MPLS sia per la clientela Executive/Business, (attestata nella rete di accesso attraverso tecniche ATM, Frame Relay, ADSL e GbE) che per la clientela Residenziale (attestata via rete ADSL e dial-up); OPB fornisce inoltre un livello di trasporto IP/MPLS per i servizi telefonici su IP di tipo Class4 (interconnessione nodi del BBN) e Class5 (accessi VoIP) e per i servizi di interconnessione con gli IDC (Internet Data Center) di Pomezia e Milano.

La rete OPB è direttamente collegata alle reti degli altri ISP (Internet Service Provider) mediante punti di peering "Privati" e "Pubblici" a seconda dei casi, realizzati generalmente presso uno dei due punti neutri d'interconnessione italiani presenti a Roma (NAMEX) ed a Milano (MIX).

L'interconnessione tra i due backbone è realizzata a Roma e a Milano, con collegamenti GbE per servizi IP ed SDH a 2,5 Gbit/s per i servizi VPN-MPLS, attuando in questo caso le funzionalità "Inter-AS-VPN" per le sedi cliente Executive attestate in modalità "dual backbone". La connettività verso la Big Internet, per tutte le destinazioni che non siano interne oppure coperte dai Peering appena citati, è ottenuta attraverso il backbone Internazionale di Telecom Italia Sparkle denominato "SEABONE", il cosiddetto "Upstream Provider" per i backbone nazionali di Telecom Italia. Tutta la clientela nazionale, con o senza un proprio *Autonomous System*, per i servizi di tipo Full Internet o di VPN MPLS, accede ai backbone tramite apposite strutture di Edge (Router di Accesso, Router PE MPLS, NAS ADSL e NAS *dial up*) utilizzando le molteplici reti dedicate di accesso ATM, ADSL, GBE, SDH ed ISDN oggi disponibili.

3. L'architettura dei backbone IP

3.1 La genesi di OPB

L'attuale architettura della rete OPB è frutto di una completa rivisitazione dell'architettura, sia fisica che di routing, dell'allora rete *IBS* (InterBusiness).

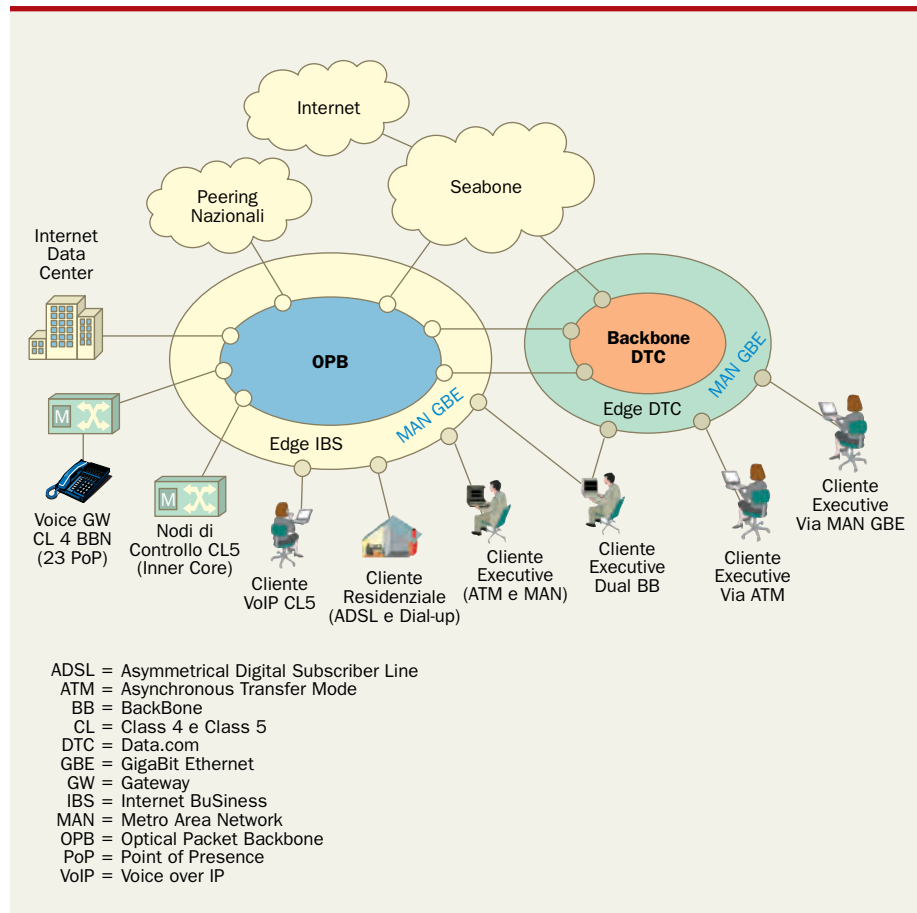


FIGURA 2 L'articolazione dei servizi sui due backbone IP Pubblici.

Essa disponeva di 12 *PoP* (Point of Presence) distribuiti sul territorio nazionale e collegati geograficamente ai due PoP principali di Roma e di Milano (*dual-homing*) attraverso circuiti PVC ATM, tipicamente dimensionati per qualche decina di Mbit/s [3].

L'architettura di routing era basata esclusivamente sul protocollo OSPF, mentre il protocollo BGP era utilizzato soltanto per i punti di peering e per l'interconnessione con il backbone Internazionale.

La nuova rete, costruita su 32 PoP nazionali, ha rivoluzionato l'architettura generale della rete:

- trasformando il dual-homing dei PoP su base geografica (Nord e Sud) in doppie attestazioni attuate verso Roma oppure verso Milano;
- creando altri nuovi 18 PoP, con un'architettura interna analoga ma semplificata rispetto a quella dei 12 PoP presenti;
- dismettendo progressivamente i collegamenti ATM, per iniziare il nuovo lento ma inesorabile percorso di integrazione tra IP/MPLS e lo strato ottico;
- modellando il routing su un'architettura principalmente basata su BGP e OSPF per la topologia della rete.

Inoltre, i PoP di Roma e Milano hanno subito un radicale cambiamento per permettere il nuovo "dual-homing" dei PoP, per raccogliere la cre-

scente clientela locale e per abilitare nuovi servizi (come ad esempio il BBN).

Da un singolo PoP a Roma e a Milano si sono dapprima divise le funzionalità su due macchine distinte (*PoP Splitting*), poi si sono raddoppiati i PoP (*PoP Doubling*) giungendo così alla creazione di quattro PoP completamente autoconsistenti detti di *Inner Core*.

La tecnologia impiegata ai tempi di IBS era principalmente della classe Cisco 7500, con capacità di switching tipicamente intorno ai 500 Mbit/s; nella fase di "PoP Splitting" (sdoppiamento dei centri stella di Roma e Milano per ragioni di "disaster recovery") sono apparsi in rete i primi GigaSwitchRouter Cisco (GSR) della classe 12000, con capacità pari a 60 Gbit/s (12012) e con architettura interna completamente distribuita dove il processore centrale è responsabile del piano di controllo e le singole schede di quello di forwarding dei pacchetti. Oggi la rete OPB utilizza essenzialmente tecnologia GSR Cisco (12016, 12416), con capacità di switching variabili da 80 a 320 Gbit/s.

La migrazione su rete SDH/DWDM dell'infrastruttura trasmissiva per tutti i 32 PoP ha richiesto nuovi circuiti trasmissivi a 155 Mbit/s, 2,5 Gbit/s e a 10 Gbit/s, a seconda della dimensione e necessità di ciascun PoP.

La riorganizzazione del routing ha consentito, nel tempo, l'abilitazione di nuove importanti funzionalità quali (figura 3):

- il trasporto del traffico MPLS nella sua componente base denominata "Provider Router" ("P", giugno 2001, [4, 5]);
- l'abilitazione della componente "MPLS Traffic Engineering" a supporto del traffico voce BBN ("MPLS-TE", giugno 2002, [6]);
- l'abilitazione della Qualità del Servizio per reti IP/MPLS a supporto del traffico voce BBN ("QoS DiffServ", giugno 2002);
- l'attivazione delle componenti "MPLS-VPN" per la realizzazione di Reti Private Virtuali (*Provider Edge*);
- l'interconnessione tra le reti VPN di diversi Autonomous System nell'ambito dell'offerta "dual backbone" ("*Inter-AS VPN*", luglio 2002). Attualmente, sono attivi su OPB più di 2.000 tunnel MPLS-TE per il BBN, realizzati in maglia completa su 23 PoP in modalità *FRR (Fast Re-Routing)* per assicurare un rapido ripristino dei tunnel in caso di guasti sul backbone.

Le altre componenti indicate in figura ed in corso di approfondimento per un eventuale utilizzo in rete, riguardano:

- il trasporto di altre VPN MPLS all'interno delle VPN MPLS (Carrier Supporting Carrier, CSC);
- il routing Multicast all'interno delle VPN (MPLS-VPN);
- il supporto su base geografica alle VPN di livello 2 (Layer 2 VPN);
- il trasporto di altre tecnologie su MPLS (Any Transport Over MPLS).

3.2 L'architettura della rete OPB

Il backbone *OPB (Optical Packet Backbone)* è articolato su 32 PoP nazionali, una topologia a doppio centro stella e la distinzione tra PoP di *Inner Core* ed *Outer Core* (figura 4). L'*Inner Core* è costituito dai due PoP di Roma e i due PoP di Milano, mentre l'*Outer Core* è incentrato sui restanti 28, collegati in "dual-homing" a Roma oppure a Milano sulla base della loro localizzazione geografica.

Il "dual-homing" dei 28 PoP di *Outer Core* sui Centri Stella è stato reso ancora più affidabile raddoppiando i PoP di Roma e Milano su centrali diverse ed attestando ciascuno dei PoP *Outer Core* con almeno 2 circuiti trasmissivi ai 2 PoP *Inner Core* (Milano Bersaglio e Milano Malpaga oppure Roma Inviolatella e Roma CTRL). A livello trasmissivo i nodi di OPB sono collegati fra loro attraverso la rete ottica di trasporto nazionale, con circuiti DWDM punto-punto a 2,5 Gbit/s (STM-16) e a 10 Gbit/s (STM-64) e con circuiti SDH a 155 Mbit/s (STM-1), tutti attestati su interfacce di tipo POS (*Packet Over Sonet*).

Come viene descritto in seguito, la rete è stata progettata per essere completamente ridondata in tutte le sue componenti ed immune a condizioni di singolo guasto, quale ad esempio il guasto di un Router, di una singola scheda o di un circuito trasmissivo. In caso di doppio guasto contemporaneo è attiva la funzionalità *QoS/CoS (Quality of Service, Class of Service)* per salvaguardare i servizi più pregiati.

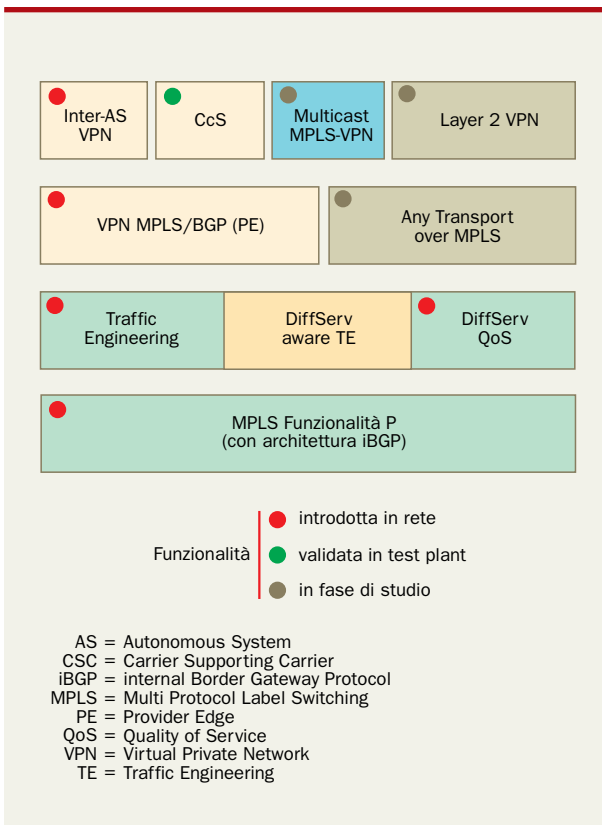


FIGURA 3 Le componenti funzionali del backbone OPB.

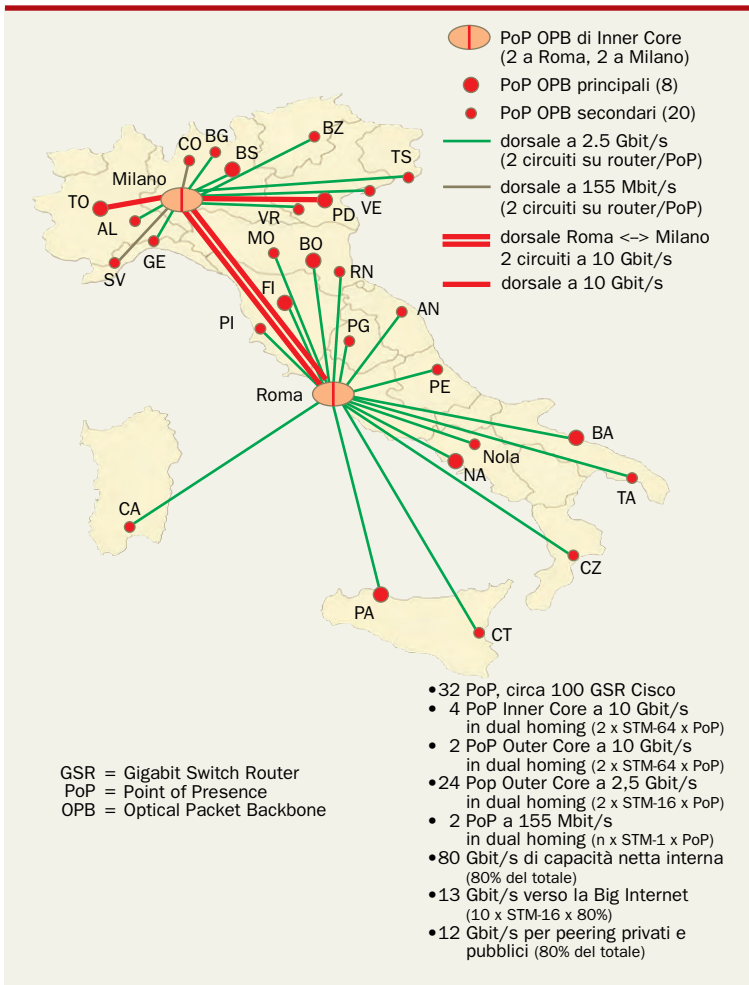


FIGURA 4 L'architettura del backbone OPB (12/2004).

L'architettura attuale è costituita da:

- 4 PoP Inner Core, equipaggiati ciascuno con quattro circuiti STM-64, due geografici tra Roma e Milano e due metropolitani nelle stesse città;
- 2 PoP Outer Core equipaggiati ciascuno con circuiti STM-64 (Padova, Torino);
- 24 PoP Outer Core equipaggiati con due circuiti STM-16 (Alessandria, Ancona, Bari, Bergamo, Bologna, Bolzano, Brescia, Cagliari, Catania, Catanzaro, Firenze, Genova, Modena, Napoli, Nola, Palermo, Perugia, Pescara, Pisa, Rimini, Taranto, Trieste, Venezia, Verona);
- 2 PoP Outer Core equipaggiati con circuiti STM-1 (Como, Savona).

Il principale requisito di progetto alla base del dimensionamento dei circuiti impone un limite sul traffico massimo complessivo per ciascun link pari al 50% in modo da essere immuni ad una condizione di singolo guasto. La capacità di trasporto interna complessiva netta risultante è pari a circa 80 Gbit/s¹.

(1)

Si tratta della capacità utile, valutata con l'equazione:
 $24 \text{ PoP} \cdot 2 \text{ circuiti per PoP} \cdot 2,5 \text{ Gbit/s a circuito} \cdot 0,5 = \text{circa } 60 \text{ Gbit/s}$,
 a cui va sommato l'altro contributo:
 $2 \text{ PoP} \cdot 2 \text{ circuiti per PoP} \cdot 10 \text{ Gbit/s a circuito} \cdot 0,5 = \text{circa } 20 \text{ Gbit/s}$.

3.2.1 Inner Core

L'Inner Core è articolato sui 4 PoP di Roma e Milano, indipendenti ed autoconsistenti (figura 5), ognuno dei quali con apparati Cisco GSR che ricoprono il ruolo di:

- **Centro Stella (CS)** per l'attestazione dei circuiti verso i PoP dell'Outer Core;
- **Transito (T)** verso le strutture di Edge/Accesso;
- **Gateway Internazionali (ITZ)** per la terminazione dei collegamenti verso i PoP di Seabone;
- **Gateway (P)** verso i punti di Peering nazionali.

I quattro PoP si poggiano su un doppio quadrilatero di circuiti trasmissivi a 10 Gbit/s (STM-64) per le quattro dorsali Roma-Milano. Oltre ai collegamenti POS (Packet over SDH) [7], sono attivi collegamenti metropolitani in tecnologia 10 GigabitEthernet ridonati allo scopo di interconnettere i quattro Centro Stella ai Gateway Internazionali e di Peering e di bilanciare il traffico all'interno della rete.

Tutti i PoP dell'Outer Core sono attestati ad una coppia di apparati Cisco GSR dell'Inner Core con funzione di CS (Centro Stella). Per aumentare ulteriormente l'affidabilità, poi, ogni PoP di Inner Core è completamente ridonato ed i collegamenti provenienti dai PoP di Outer Core sono distribuiti su due coppie di nodi GSR.

Con riferimento alla figura 5, un generico PoP Outer Core attestato all'Inner Core di Milano, ad esempio, dispone di collegamenti verso i router Centro Stella CS1 e CS4, oppure verso CS2 e CS3.

I quattro PoP di Inner Core, oltre a raccogliere e distribuire il traffico per tutta la rete, hanno il compito di aggregare il traffico ed i servizi localmente per Roma e Milano, utilizzando le strutture di Edge dedicate ai servizi Executive/Business o Residenziali (figura 6).

Un generico PoP di Inner Core rispetto ad uno di Outer Core dispone di:

- uno dei quattro punti di "uscita" della rete dal proprio Autonomous System per la connettività verso altri ISP nazionali e la Big Internet attraverso Seabone, utilizzando due GSR dedicati (GW);
- di due VLAN di Transito a 10 GbE implementate su di una coppia di Catalyst Cisco 6513, per fornire la connettività a 10 Gbit/s con i Gateway verso SEABONE ed i Peering. Le VLAN di Transito superano inoltre il confine del PoP per interconnettersi al PoP gemello a livello metropolitano in modo da permettere il bilanciamento del traffico all'interno della rete. Tutti i GSR con tecnologia a 10Gbit/s (CS, ITZ e P) sono dei Cisco 12416.

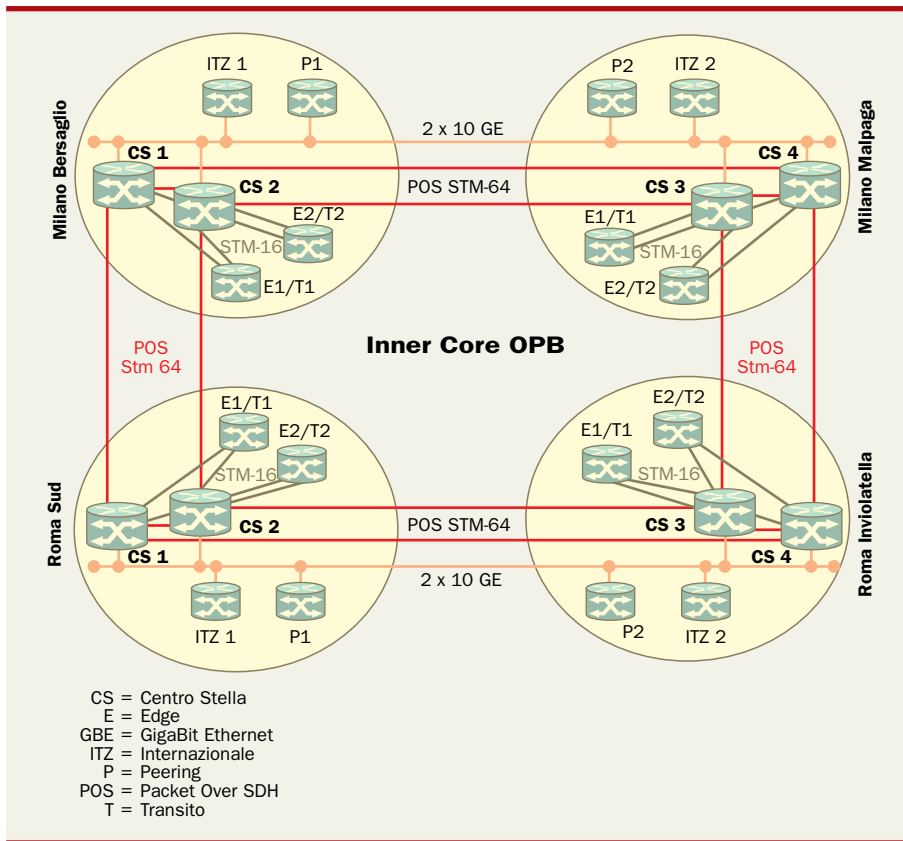


FIGURA 5 L'architettura dell'Inner Core di OPB.

Il livello Core vede i router di Centro Stella dell'area Inner Core su collegamenti a velocità STM-16, mentre il livello Edge di tutti i PoP Outer Core vede le strutture di "Accesso", indicate in figura 7 con la sigla EDGE IBS (da non confonderli con i GSR di Edge di OPB), su collegamenti Fast Ethernet o Gigabit Ethernet.

Le strutture di "Accesso" in questo contesto corrispondono ad apparati di livello 3 (ovvero routing IP e non switching di livello 2) attraverso i quali vengono serviti i clienti finali oppure erogate componenti di Servizio/Controllo. A tale scopo una coppia di apparati Catalyst Cisco 6509, denominati "Catalyst Infrastrutturali", realizzano due VLAN di accesso, in divisione di carico e completamente ridondate, per le seguenti strutture di "Accesso":

- Edge Executive, attraverso

3.2.2 Outer Core

L'Outer Core è costituito da 28 PoP nazionali, Principali o Secondari a seconda che si tratti di sedi con maggiori o minori interessi di traffico.

Dal punto di vista funzionale entrambi i tipi di PoP dell'Outer Core hanno le stesse caratteristiche e ciò che li differenzia è la presenza di uno o due livelli di Gigarouter.

L'architettura degli otto PoP Principali (BA, BO, BS, FI, NA, PA, PD, TO) è illustrata in figura 7. I due livelli di router nei PoP Principali, denominati Edge ed Core, sono collegati localmente in maniera ridondata con velocità STM-16 e, tenuto conto che, secondo i criteri di progetto, i quattro collegamenti devono essere caricati singolarmente non più del 50% della loro capacità netta, ne risulta una capacità complessiva di traffico interna pari a 5 Gbit/s.

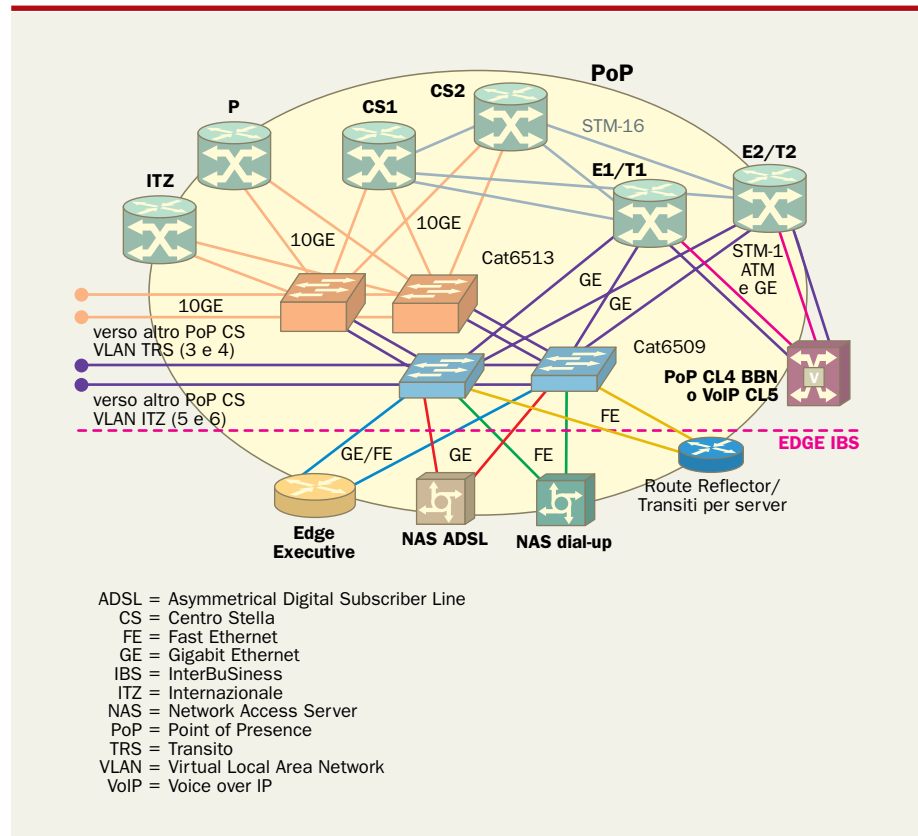


FIGURA 6 L'architettura interna dei PoP di Inner Core.

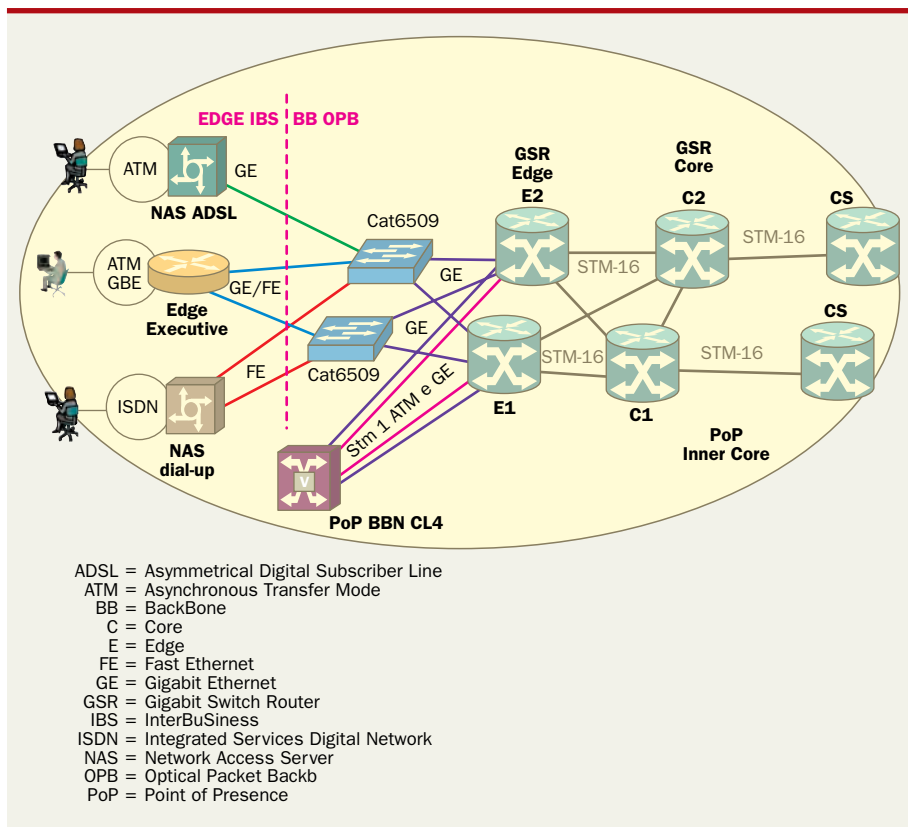


FIGURA 7 L'architettura degli otto PoP Principali di Outer Core.

L'architettura dei 20 PoP Secondari è mostrata in figura 8, dove i livelli di Core ed Edge coincidono con una singola coppia di GSR (detti Core/Edge), ma dove le funzionalità supportate, come già evidenziato, rimangono le stesse.

3.2.3 Routing

3.2.3.1 Routing Unicast

La rete OPB è costituita da due AS (Autonomous System), AS6664 e AS3269, il primo ereditato dall'era di IBS ed in via di dismissione, mentre il secondo rappresenta il dominio principale sul quale sono state sviluppate tutte le nuove tecnologie e funzionalità.

Come già anticipato, la genesi del backbone OPB dalla precedente rete IBS ha comportato una complessa riorganizzazione del routing dell'AS 3269. La riorganizzazione è stata necessaria per superare l'instabilità ed i

Router di Accesso (RA) per i servizi Full Internet e Router PE (Provider Edge) MPLS-VPN per i servizi Hyperway (apparati Cisco 7500 o 10K oppure apparati Juniper M20;

- NAS ADSL per clientela Residenziale o small Business (apparati Cisco 6400 o 10K oppure Juniper ERX);
- NAS dial-up delle rete E@sy.IP (apparti APX8000 Lucent). Il criterio di ripartizione del traffico è effettuato bilanciando i pacchetti IP/MPLS sui quattro diversi percorsi, tra i router di Accesso ed i primi due GSR di OPB, su base "flusso" utilizzando un algoritmo di *hashing* che tiene conto degli indirizzi di sorgente, destinazione e porte TCP/UDP.

Sono invece direttamente connessi ai GSR di Edge i Voice Gateway MGX della rete BBN (nodi Class4 di transito della rete telefonica pubblica), su collegamenti locali STM-1 ATM e GbE.

limiti di scalabilità dovuti all'utilizzo del protocollo OSPF per la propagazione delle informazioni di

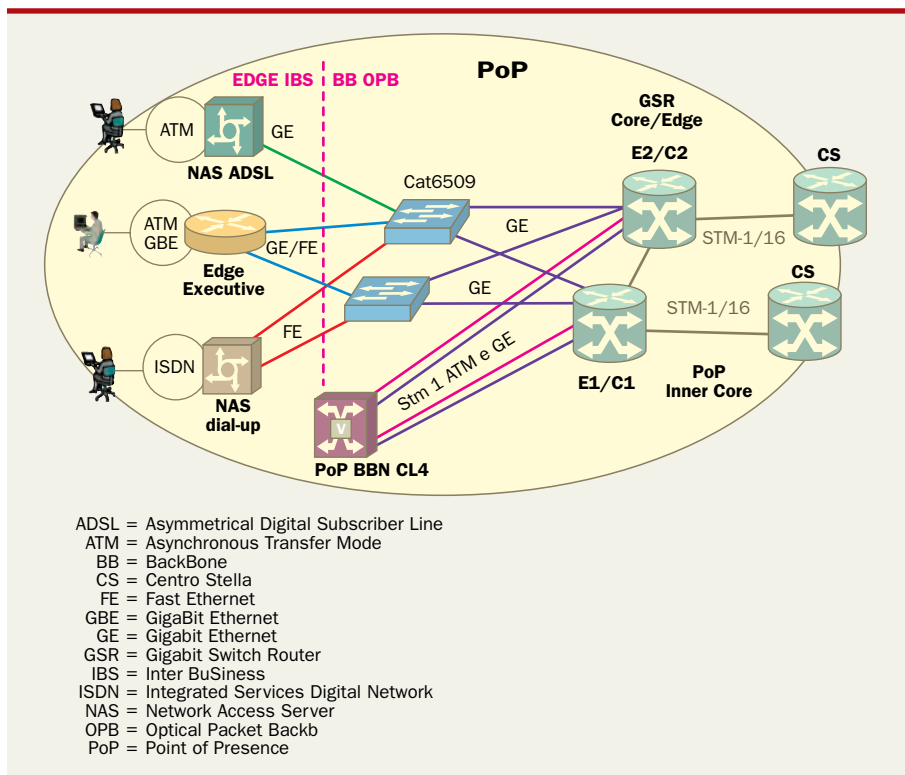


FIGURA 8 L'architettura degli venti PoP Secondari di Outer Core.

I PROTOCOLLI DI ROUTING

Il protocollo OSPF

Il protocollo OSPF (*Open Shortest Path First*) è un protocollo di instradamento IGP (*Interior Gateway Protocol*, cioè progettato per il routing all'interno di un *Autonomous System*), standardizzato in ambito IETF nella RFC 2328 [8]. Tale protocollo, a differenza di altri, (ad esempio RIP), che sono di tipo *distance vector*, è di tipo *link-state*. Ciò in pratica significa che i router attivi tra di loro collegati, al momento dell'accensione oppure a seguito di variazioni topologiche, si scambiano informazioni relative solamente allo stato delle network afferenti a quei dati router ed ai router ad essi adiacenti. In questo modo ciascun router costruisce un database topologico della rete (replicato su tutti i router del dominio), a partire dal quale, indipendentemente dagli altri, si costruisce la sua tabella di routing. L'instadamento finale è scelto individuando, mediante l'algoritmo di *Dijkstra*, il percorso di rete a costo minimo.

Nella configurazione del protocollo in un dominio con un elevato numero di router, è possibile partizionare la rete in aree di dimensioni più piccole, in modo che siano presenti un'area di backbone, nota come area 0, e delle aree periferiche connesse alla precedente.

Il protocollo BGP

Il BGP (*Border Gateway Protocol*) è un protocollo di tipo EGP (*Exterior Gateway Protocol*) che è usato per scambiare le informazioni di raggiungibilità delle reti di *autonomous systems* distinti (*external BGP*) oppure delle reti afferenti a diversi router interni ad un singolo *autonomous system* (*internal BGP*). La versione del protocollo correntemente utilizzata in Internet è definita nella RFC 1771. I router tra i quali viene stabilita una sessione BGP vengono detti *peer*.

Il protocollo BGP e' implementato su TCP e non direttamente su IP. Il vantaggio principale di ciò e' la delega al TCP di tutte le funzioni di controllo di errore, ritrasmissione e frammentazione. Al momento dell'instaurazione di una sessione BGP, dopo che i router con i messaggi di *open* hanno concordato i parametri della connessione, si scambiano l'intera tabella BGP su di essi memorizzata. Successivamente, invece, vengono inviate solo delle notifiche per segnalare le variazioni sulla di raggiungibilità delle reti Internet.

Le informazioni scambiate tra *peer BGP* sono accompagnate da una serie di attributi, dei quali alcuni opzionali, che consentono sia l'implementazione automatica di algoritmi per la prevenzioni di loop e sia la propagazione delle politiche di routing.

Nella RFC 2858 [9], all'implementazione iniziale del protocollo sono state aggiunte ulteriori funzionalità utili per l'abilitazione di alcuni tipi di servizi, quali il *multicast inter-Autonomous System* e le *VPN-MPLS*.

Il protocollo PIM

Il protocollo PIM (*Protocol Independent Multicast*) è un protocollo di instradamento multicast standardizzato in ambito IETF nella RFC 2362. Lo standard PIM suppone che i percorsi tra sorgente e destinazione siano simmetrici e utilizza quindi le stesse informazioni contenute nella tabella di instradamento unicast.

Il protocollo opera in due modalità: nel "dense mode" utilizza algoritmi di instradamento del tipo *Reverse Path Forwarding*, dove router per router vengono coinvolte nel multicast solo le interfacce che rispettano il vincolo del percorso più breve tra Sorgente e Destinazione; nella modalità "sparse mode" si effettua la distribuzione dei pacchetti minimizzando il numero di router coinvolti, con una dichiarazione esplicita dei router di adesione al multicast, contrariamente all'altra modalità dove il multicast è presente su tutte le interfacce dei router e dove spetta a ciascun router escludere quelle interfacce non interessate.

routing relative alle network dei clienti, nonché per consentire l'introduzione della tecnica MPLS in rete. Per approfondimenti sui tipi di protocolli si veda il riquadro di approfondimento "I protocolli di routing".

Si è scelto di adottare il protocollo iBGP [10] per la distribuzione delle informazioni di routing relative alle reti Cliente, ed il protocollo OSPF per la distribuzione delle informazioni per la raggiungibilità degli apparati. La complessità delle operazioni ha richiesto lo svolgimento delle attività in tre fasi:

- nella prima è stata introdotta la nuova architettura di routing iBGP nella rete di backbone e di accesso, ad eccezione delle configurazioni relative ai clienti finali;
- nella seconda è avvenuta la migrazione dei clienti di IBS sulla nuova architettura di routine;

- nella terza è stato bonificato il routing OSPF all'interno del backbone, passando da una complicata configurazione OSPF multi-processo ad una configurazione multi-area di nuova concezione dette Aree NSSA (*Not So Stubby Area*). Si sono così combinati i punti di forza di due protocolli di routing, ovvero la capacità di calcolare il percorso ottimo del protocollo OSPF, configurato in un'architettura a 32 aree periferiche ed un'area zero di backbone, e la capacità del protocollo BGP di gestire e "manipolare" un elevato numero di rotte (indirizzi aggregati IP) assicurando un'effettiva scalabilità della rete. In altre parole, con il protocollo OSPF si calcola la raggiungibilità di tutti i nodi della rete utilizzando le loopback degli apparati (*internal route*) e con il BGP si propagano gli annunci delle rotte verso le reti dei Clienti.

L'implementazione BGP è stata corredata dall'importante funzionalità di *RR (Route Reflector)*, secondo la raccomandazione IETF RFC 1966 [11], per evitare una maglia completa di relazioni iBGP tra tutti i router del backbone. Tutti i router (Client) hanno una relazione di peering iBGP con un Server, il *Route Reflector*, che ha il compito di annunciare a tutti gli altri le rotte apprese da un particolare Client. La propagazione di un annuncio non è trasparente, ma avviene a seguito di un processo decisionale che può filtrare e modificare gli attributi degli annunci.

L'architettura iBGP è stata inizialmente basata su un modello gerarchico di Route Reflector a due livelli: il "Top Level RR" realizzato su router Cisco 7200 dedicati, il secondo livello di RR sui GSR dei PoP di OPB. Le migliorie sulla scalabilità introdotte nel BGP e nel Sistema Operativo Cisco (IOS) hanno consentito, nel corso del 2003, di passare ad un'architettura ad un solo livello gerarchico di RR dove:

- gli elementi di Edge per i servizi Full Internet e i tutti i GSR di OPB hanno attive due sessioni su due degli otto RR Cisco 7200 dedicati;
- ognuno dei RR ha attiva una relazione iBGP con tutti gli altri. In questo contesto il piano *MP-BGP (MultiProtocol BGP)* per i servizi VPN-MPLS non fa parte del piano di controllo di OPB ma si appoggia su un'architettura di Router Reflector MP-BGP dedicata. Il modello BGP adottato consente la propagazione a tutti i GSR di OPB delle sole rotte nazionali, costituite dalle network interne, dei propri clienti e da quelle dei Peering Pubblici e Privati di OPB.

Per inciso, a parte i Gateway verso Seabone, gli apparati GSR di OPB non possiedono la *Full Internet Table*, ovvero la tabella di routing costituita da tutti i prefissi mondiali presenti su Internet, ma soltanto il sottoinsieme delle rotte nazionali; per le rotte dirette fuori dal backbone, è configurata una rotta di *default*, iniettata via protocollo OSPF, verso i quattro Gateway internazionali (GW-ITZ). D'altro canto, è ragionevole che un pacchetto che non sia destinato al dominio interno oppure ad un *peering* sia destinato a qualche rete raggiungibile tramite l'*upstream provider* e dovrà quindi necessariamente essere trasportato verso il Gateway Internazionale più vicino geograficamente.

Un discorso opposto viene fatto per l'area *Edge Executive*, legata in particolare ai servizi *Full Internet*, dove i clienti con proprio AS (detti AS-Client) hanno bisogno della "*Full Internet Table*".

Tornando al paradigma generale, ciascun elemento di Accesso/Edge si fa carico di annunciare le reti (network) dei clienti ad esso attestati, avendo cura di scrivere nel campo *next hop* l'indirizzo della propria interfaccia di *loopback*.

In questo modo ogni altro router, per raggiungere una certa destinazione, deve inoltrare i pacchetti all'indirizzo del *next hop*, ovvero al router che ha originato l'annuncio e sarà compito di questo istradare il pacchetto verso il cliente finale.

La raggiungibilità delle interfacce di *loopback* degli elementi di Accesso è assicurata dalle istanze del protocollo OSPF.

L'architettura gerarchica scelta per il protocollo OSPF divide l'*area di backbone* dalle *aree di periferia*:

- l'*area di backbone* (area 0) è costituita da tutti i router del backbone propriamente detto, dai RR, GW-ITZ e dai router di peering, ivi compresi quelli dislocati nelle sedi NAP;
- le *aree periferiche* sono numerate in maniera tale da individuare univocamente ciascuno dei 32 PoP OPB e comprendono tutti gli apparati di accesso (RA, PE MPLS e NAS, inclusi i GSR di collegamento al Backbone), ad eccezione degli apparati di transito del BBN inseriti in un processo OSPF a loro dedicato.

I punti di contatto tra area 0 e area periferica sono realizzati a livello di piano di controllo attraverso i cosiddetti Router "ABR" (Area Border Router) e coincidono su OPB con i GSR di EDGE nei PoP a due livelli (principali), con i GSR CORE/EDGE nei PoP ad un livello (secondari) oppure con i GSR di Transito nei PoP di Inner Core.

I GSR ABR sono infatti appartenenti contemporaneamente sia all'area 0 che all'area periferica.

Per aumentare ulteriormente la scalabilità dell'architettura, è stata utilizzata una tipologia di area detta *NSSA (Not So Stubby Area)* che possiede dei meccanismi di filtraggio per controllare l'iniezione degli annunci OSPF da e verso un'area periferica.

In particolare, l'unica informazione che deve necessariamente transitare tra le aree, a parte alcuni casi particolari per servizi di *load balancing*, è l'informazione per la raggiungibilità degli apparati (ovvero le network relative alle interfacce di *loopback*).

Tutte le altre informazioni di routing propagate in area 0 vengono filtrate dagli apparati con funzione di ABR: con questi accorgimenti implementati in rete si è in grado di minimizzare la propagazione delle perturbazioni di routing in zone remote della rete.

La peculiarità OSPF di essere un protocollo di tipo "link state", ovvero di controllo dello stato di un collegamento tra due Router, consente inoltre l'ottimizzazione dell'instradamento del traffico interno alla rete.

Gli annunci su OSPF dei link connessi agli apparati vengono gestiti con una metrica inversamente proporzionale all'effettiva banda fisica: in questo modo le relazioni di traffico vengono instradate in rete selezionando il cammino di rete che complessivamente offre la maggior disponibilità di banda potenziale. L'interworking tra i protocolli BGP ed OSPF è illustrato schematicamente nella figura 9.

Dal punto di vista dello sviluppo infrastrutturale, a partire dal 2003, si è stabilito che l'ampliamento della banda d'interconnessione tra OPB e Seabone debba avvenire esclusivamente su direttrici STM-16, mirando ad un progressivo rilascio dei circuiti di gerarchia inferiore.

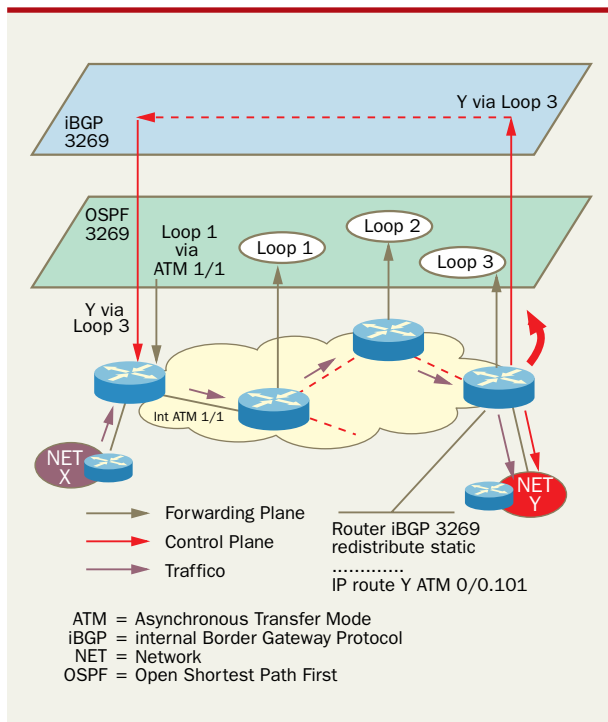


FIGURA 9 L'interworking tra i protocolli BGP e OSPF.

Tale scelta ha trovato piena giustificazione alla luce dei seguenti fattori:

- trend di crescita del traffico internazionale di gran lunga superiore alle previsioni;
- comparazione dei costi tra collegamenti STM-1 e STM-16;
- necessità di ottimizzare l'occupazione di risorse trasmissive (line card e circuiti) e di semplificare le politiche di routing BGP, mediante aggregazione dei traffici generati dalle diverse tipologie di servizio "affini".

Per ottenere la segregazione del traffico relativo alle diverse tipologie di servizio, gli annunci delle reti vengono diversificati in uscita sulla base degli attributi BGP (denominati *communities*) imposti dal router da cui sono originati. I PoP Inner core della stessa città lavorano in *load balancing* con reciproco *back up*, ovvero l'insieme delle reti annunciate da OPB sono ripartite fra i 4 GW-ITZ e le reti che un certo GW-ITZ annuncia verso Seabone con metrica preferenziale sono anche annunciate, con metrica sfavorevole, dall'altro GW-ITZ della stessa città e viceversa. In questo modo, in condizioni normali di funzionamento, il traffico che rientra verso una rete cliente di OPB transita solo per il link a 2,5 Gbit/s a cui quella stessa rete è assegnata, mentre in caso di perdita di connettività tra un GW-ITZ e il router Seabone, il traffico verrebbe automaticamente instradato verso l'altro GSR omologo della stessa città.

Per ottenere il bilanciamento del traffico in uscita da OPB e diretto verso Seabone, si utilizza una particolare configurazione di *anycast routing* dove la subnet comune è quindi annunciata in OSPF dagli stessi GW-ITZ.

La configurazione *anycast* si basa sull'impostazione del next-hop BGP delle route Internet pari ad un indirizzo IP comune a tutti i quattro GW-ITZ ed annunciato da questi ultimi in OSPF. Questa configurazione e la simmetria dell'architettura di OPB consentono di ripartire equamente il traffico diretto alla Big Internet fra tutti i quattro punti di interconnessione con Seabone.

3.2.3.2 Routing Multicast

Allo scopo di supportare l'offerta commerciale denominata *YourCh@nnel*, rivolta alla Clientela Business e ai Content Provider, per la distribuzione di propri servizi su Internet in maniera diffusa, alla fine del 2000 è stata introdotta la funzionalità di routing multicast sulle reti IP/MPLS.

Il trasporto in "multicast" è una tecnica efficiente per trasmettere la stessa informazione ad una moltitudine di riceventi, ottimizzando l'impiego di banda e di risorse di elaborazione nelle reti di telecomunicazioni. La distribuzione ottimale delle informazioni verso i riceventi avviene secondo una topologia ad albero in cui la radice rappresenta la sorgente e le foglie corrispondono ai riceventi.

Gli algoritmi di instradamento multicast evitano la duplicazione dei dati lungo i rami dell'albero che vengono attraversati da più di uno dei percorsi diretti alle diverse destinazioni.

Oltre a limitare l'occupazione di banda, il multicast permette di raggiungere un numero virtualmente illimitato di riceventi in quanto la sorgente emette comunque un unico flusso e non viene sovraccaricata dalla presenza simultanea di più destinatari.

L'attivazione in rete del servizio multicast ha richiesto:

- la configurazione del protocollo di routing multicast *PIM v2 (Protocol Independent Multicast, versione 2)* [12] in modalità *sparse mode* su tutti gli apparati e le interfacce di backbone;
- l'attivazione della funzionalità di *RP (Rendez-Vous Point)* su una coppia di apparati del backbone, per la raccolta delle richieste di adesione ai gruppi multicast da parte dei riceventi e delle richieste di trasmissione da parte delle sorgenti;
- la configurazione del protocollo *MSDP (Multicast Source Discovery Protocol)* [13] sugli RP per la sincronizzazione delle informazioni relative alle sorgenti attive;
- la configurazione del protocollo *IGMP v2 (Internet Group Management Protocol, versione 2)* [14] sui router di accesso al backbone per l'adesione e l'abbandono di una sessione multicast da parte degli utilizzatori finali. La scelta di avere una coppia di apparati di backbone con funzioni di *Rendez-Vous Point* è stata guidata da questioni di ridondanza.

I due RP sono stati identificati mediante lo stesso indirizzo IP *anycast* e tale indirizzo è configurato in maniera statica sui router di accesso, punti di connessione di sorgenti e destinazioni.

In tal modo, sia la sorgente che le destinazioni interessate al flusso multicast, possono raggiungere sempre il RP attivo più vicino utilizzando le tabelle di routing unicast (OSPF per OPB, IS-IS per DTC). L'indisponibilità di uno dei due viene quindi coperta dall'altro RP grazie al fatto di aver assegnato ad entrambi gli RP lo stesso indirizzo IP. Per questioni architetturali su OPB sono stati scelti come RP due apparati GSR di Centro Stella, uno a Roma e uno a Milano.

3.2.4 Catalyst e Gateway

Gli apparati Catalyst della infrastruttura di OPB svolgono due compiti fondamentali:

- consentono l'interconnessione al backbone degli apparati di accesso e di Edge attraverso le VLAN di accesso presenti nei 32 PoP di OPB;
- supportano il traffico di transito al backbone nei Nodi di Inner Core a Roma e Milano verso i nodi di peering, Internazionale e IDC, attraverso le VLAN di transito.

Dal punto di vista del routing, la modalità standard di attestazione ad OPB prevede che gli elementi di Accesso e/o Edge siano:

- configurati sulle VLAN di "Accesso" di OPB con interfacce GE/FE e con indirizzo IP della sottorete logica IP (LIS) delle VLAN;
- conosciuti su OPB via OSPF nell'area NSSA esclusivamente per la propria *loopback* e le proprie interfacce verso i Catalyst;
- in grado di annunciare in iBGP ai Route Reflector Server gli aggregati delle reti dei clienti/sistemi a loro attestati, utilizzando per l'indirizzo di *next hop* BGP la *loopback* dell'apparato di accesso.

Come alternativa al protocollo OSPF, è possibile configurare sui GSR di OPB delle statiche, poi distribuite in iBGP e come alternativa al i-BGP è possibile configurare sempre sui GSR di OPB delle statiche per gli aggregati delle reti cliente. In ogni caso i Catalyst Infrastrutturali di OPB si aspettano di raccogliere traffico esclusivamente da apparati di Accesso/Edge di livello 3 (routing IP) e non da Switch Ethernet di livello 2.

Le interconnessioni con la rete OPB sono realizzate con *GW (Gateway GigaRouter)* dedicati verso:

- l'Upstream Provider Seabone, su circuiti Stm-16 dedicati ai servizi Mass Market (Residenziale) e circuiti STM-16 per i servizi Executive/Business (figura 10);
- il Backbone DTC su circuiti STM-16 e GbE.

3.2.5 Il Peering

Le "politiche di peering" sono costituite da un insieme di regole che disciplinano lo scambio di informazioni di instradamento tra Autonomous System.

La manipolazione delle informazioni ricevute e/o trasmesse consente il controllo sui flussi di traffico scambiati con l'esterno.

Il protocollo BGP è normalmente utilizzato per realizzare le politiche di peering in quanto nato appositamente per lo scambio di informazioni di routing relative alla raggiungibilità delle destinazioni (dette anche rotte, oppure network o route) proprie di ciascun *ISP (Internet Service Provider)*. Per la definizione di ISP su veda il riquadro di approfondimento "*Internet Service Provider*". Esso, inoltre, implementa vari meccanismi atti ad evitare l'instaurarsi di annunci su percorsi chiusi (loop), consentendo la segmentazione degli annunci su una molteplicità di sessioni e assegnando a ciascun annuncio una priorità qualora esistano più percorsi verso la stessa destinazione.

Le relazioni di peering possono essere realizzate presso apposite strutture denominate *NAP (Neutral Access Point - Punti di Peering pubblici)* o mediante interconnessione diretta tra i backbone degli ISP tramite collegamenti diretti (Punti di Peering privati).

In entrambi i casi viene instaurata una sessione *eBGP (external BGP)* tra i router di ciascun lato del peering (figura 11).

Un NAP può essere considerato un'infrastruttura di livello 2 (LAN con Switch Ethernet), in genere centralizzata in un'unica sede e la cui gestione è normalmente affidata ad un consorzio di ISP, senza scopi di lucro che ne assicura la continuità del servizio e la gestione dei malfunzionamenti 24 ore su 24.

La figura 12 illustra come i router di proprietà dei vari ISP (detti anche GateWay) sono da una parte connessi ai LAN Switch del NAP e dall'altra ai vari backbone degli ISP.

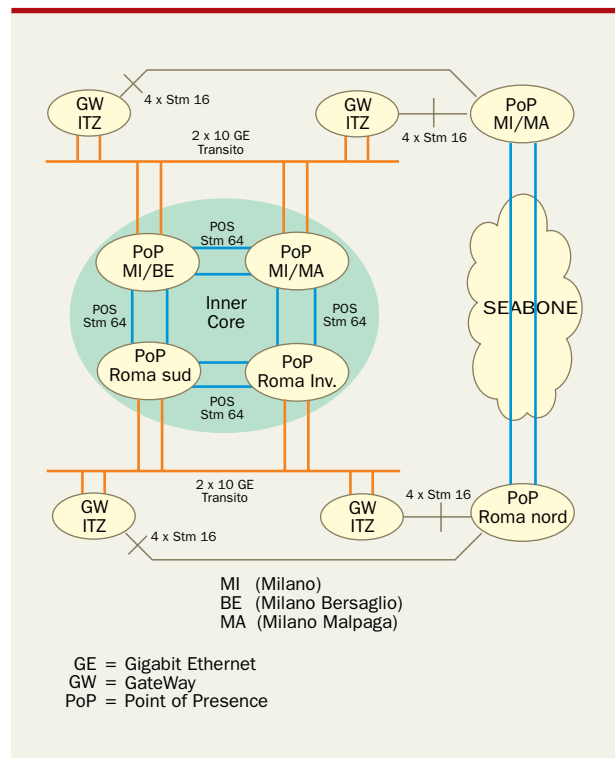


FIGURA 10 ▶ L'interconnessione OPB - Seabone.

INTERNET SERVICE PROVIDER (ISP)

È un fornitore di accessi ad Internet (per esempio, con listino ufficiale pubblicato di prodotti realizzati all'interno del proprio address space ed *Autonomous System*, come l'accesso

ad Internet via rete ATM e leased lines, ADSL o dial up). L'ISP (*Internet Service Provider*) è in possesso dell'autorizzazione Ministeriale per la fornitura di accessi ad Internet (rilasciata dal Ministero delle Comunicazioni ai sensi del D.L. n. 103 del 17/3/95 e del D.P.R. n. 420 del 4.9.95). È registrato presso RIPE NCC o un registro equivalente come *Local Internet Registry* (avendo, quindi, facoltà di assegnare reti IP ai propri clienti). Ha un proprio numero di *Autonomous System* pubblico rilasciato da un registro riconosciuto ed annuncia le proprie reti

all'interno del proprio *Autonomous System*. Ha una propria connettività all'Internet globale indipendente dal *Peering* (sia esso Privato o Pubblico) con disponibilità della *Full Internet Table* (tutte le rotte di Internet). Mantiene aggiornato il *Network Management Database* pubblico di RIPE secondo le specifiche dettate dal documento RFC-2622 (detto anche RPSL).

I due principali NAP Italiani verso la rete OPB sono equipaggiati:

- al MIX di Milano con due GW GSR 12012, ciascuno con doppia attestazione Gigabit Ethernet sulle due VLAN pubbliche del MIX e con due collegamenti STM-16 verso i GSR di peering di Milano (Bersaglio e Malpaga);
- al Namex di Roma con un GW GSR 12012, ciascuno con doppia attestazione Gigabit Ethernet sulle due VLAN pubbliche del Namex e con otto collegamenti STM-1 verso i GSR di Peering di Roma (Inviolatella e CTRL).

Le sessioni eBGP garantiscono quindi un'interconnessione logica tra ISP nei punti di Peering Pubblici e i vari operatori concordano direttamente tra loro le sessioni eBGP, i filtri e le politiche di peering. In un contesto nazionale, il numero di NAP deve essere necessariamente contenuto; dal punto di vista tecnico-architettonico, per OPB si armonizzano bene due punti di accesso, uno a Roma ed uno a Milano². Analoga considerazione può essere applicata ai Peering Privati i quali sono di regola instaurati solo con ISP di grande caratura (ad esempio, per uno scambio di traffico maggiore di 500 Mbit/s).

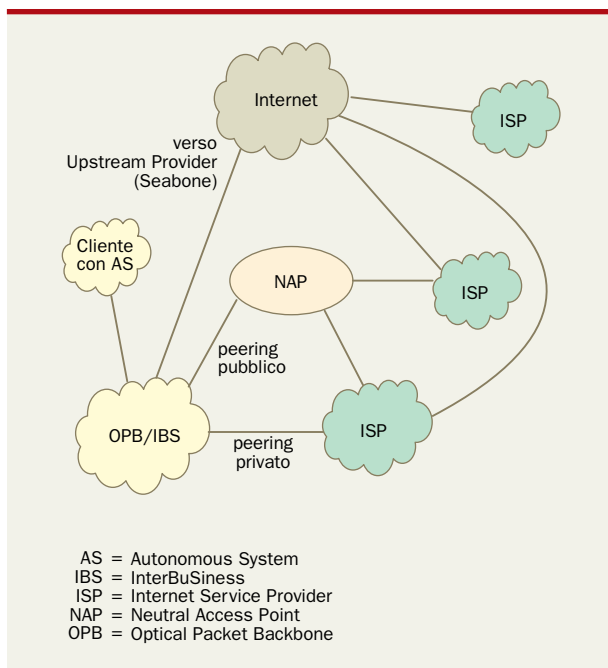


FIGURA 11 ▶ L'architettura logica dei Peering.

I peering instaurati all'interno di un NAP permettono di creare sessioni BGP tra un numero considerevole di ISP, senza dover creare una maglia completa di collegamenti diretti tra i vari backbone, come sarebbe necessario fare utilizzando Peering Privati.

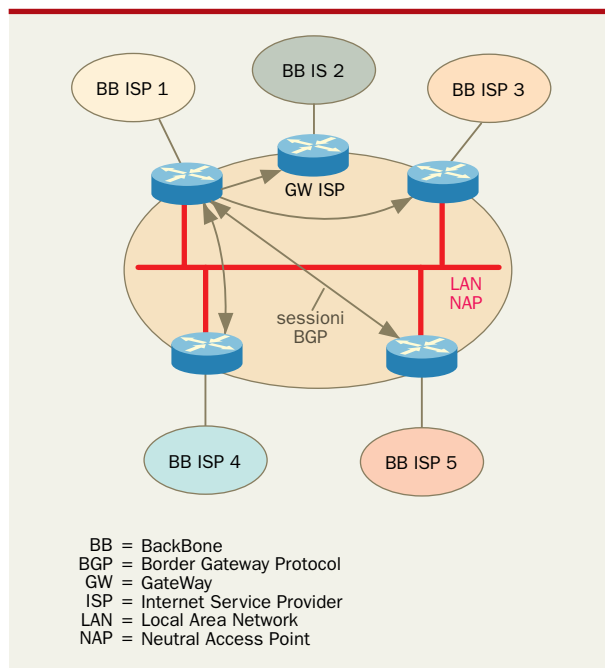


FIGURA 12 ▶ L'architettura tipica di un NAP.

Dal punto di vista del routing, agli "ISP-Peer", i Service Provider con cui Telecom Italia effettua un

(2)

Esistono altri due NAP sul territorio nazionale, il TIX ed il Topix che sviluppano però attualmente un traffico esiguo (circa 10 Mbit/s ciascuno).

peering, vengono annunciate su eBGP le reti aggregate di dominio Telecom Italia e le reti dei Clienti che possiedono un AS (AS-Cliente), con un proprio spazio di indirizzamento e con un accesso a pagamento.

Nel verso opposto, dagli ISP-Peer vengono invece accettate le reti aggregate proprie del peer e le reti dei suoi AS-Cliente.

È importante notare che gli annunci appresi dagli ISP-Peer non vengono propagati verso Seabone/Internet e verso gli altri ISP-Peer; in altri termini la rete OPB non effettua "transito" a favore degli altri ISP-Peer.

Per quanto riguarda invece gli AS-Cliente, gli annunci appresi vengono ovviamente propagati verso Seabone/Internet, oltre che verso gli ISP-Peer.

Inoltre all'AS-Cliente viene tipicamente annunciata la "Full Internet table", costituita dagli annunci delle reti OPB e da quelli appresi da Seabone, dai Peering e dagli AS-Clienti.

In virtù degli molteplici punti di interconnessione di OPB con Internet (Seabone, Peering Pubblici e Privati) e con i propri clienti (AS-Clienti), è usuale che uno stesso annuncio giunga ad OPB attraverso diversi punti di ingresso alla rete ma è altrettanto importante che vengono definite delle regole per la scelta di quale annuncio prendere come valido. Le politiche di routing della rete OPB, applicate al contesto dei peering (figura 13) prevedono che un AS-Cliente o un ISP-Peer possa smistare gli annunci delle proprie reti

mediante più sessioni instaurate su collegamenti di diversa natura, ma l'annuncio più attendibile viene scelto sulla base della tipologia dei collegamenti attivi.

La massima priorità è data all'accesso come Cliente a pagamento (AS-Cliente), in secondo luogo all'annuncio da un Peering Privato, in terzo da un Peering Pubblico e la bassa priorità all'annuncio via Internet (tramite Seabone).

Un esempio di coesistenza di sessioni diverse di peering tra OPB ed un AS-Cliente è riportato nella figura 14, dove è prevista la non coesistenza di un Peering Privato con un accesso di tipo AS-Cliente.

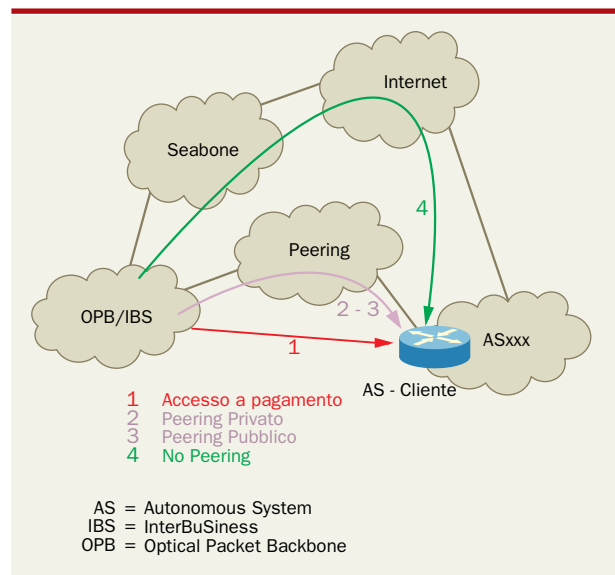


FIGURA 14 ▶ La coesistenza di Peering diversi tra OPB e AS - Cliente.

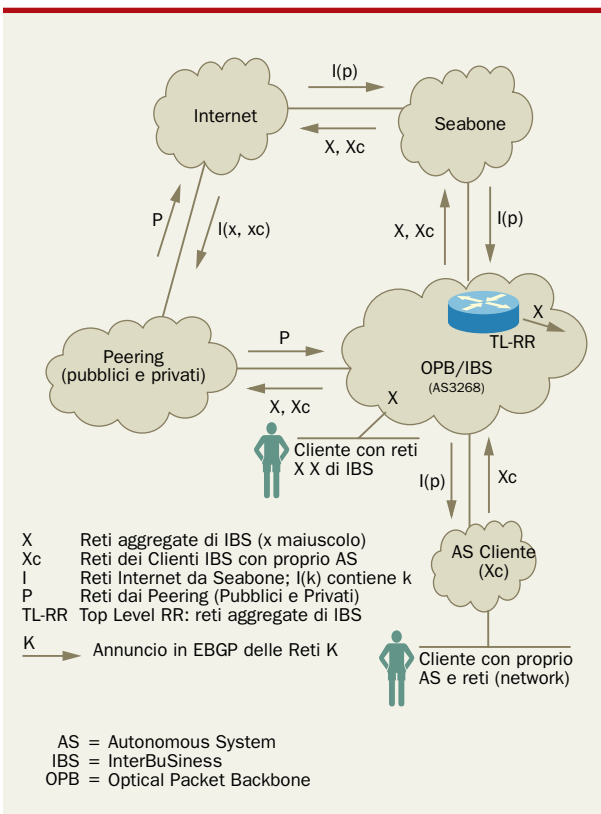


FIGURA 13 ▶ Schematizzazione delle politiche di Peering in OPB/IBS.

Con la graduale affermazione del Namex in termini di banda ed ISP connessi e la creazione di altri punti di peering pubblici (TOPIX a Torino, TIX a Firenze), è nata l'esigenza di condividere presso i vari comitati tecnici dei NAP la politica di peering. I criteri auspicati da Telecom Italia sono generalizzati nelle seguenti regole:

- dovrà essere preferito sempre il Peering Privato (se questo è presente) rispetto a quello Pubblico (presso un NAP);
- questa politica dovrà essere impostata in rete sia lato OPB che lato ISP-Peer (tipicamente con il meccanismo delle "Local Preference BGP") e non potrà essere arbitrariamente modificata da una delle due parti;
- in generale dovrà esserci al massimo un peering Privato e uno Pubblico con un generico ISP-Peer;
- come "regola generale" un ISP-Peer avrà un peering Pubblico con OPB presso un unico NAP e, per eccezione, si valuterà di volta in volta l'opportunità di gestire il peering su due punti di scambio in funzione delle risorse disponibili presso i due NAP, sia di OPB che dell'ISP-Peer;

e) qualora OPB ed un ISP-Peer decidano di effettuare due peering Pubblici presso due strutture NAP, dovrà essere concordata la priorità di utilizzo dei peering in base a criteri di reciproca convenienza e tale politica non potrà essere arbitrariamente modificata da una delle due parti. La “regola generale” fa riferimento al fatto che Telecom Italia ha adottato fin dalle origini di IBS, l’approccio di accettare come “default” i peering Pubblici con tutti gli ISP che lo richiedessero; come naturale estensione di questa politica, si ammette che un ISP-Peer possa richiedere di instaurare un Peering Pubblico presso un generico NAP a scelta.

situati nelle città di Milano, Roma, Padova e Bologna, ciascuno dotato di 1 MAN GBE “locale” e da un Outer Core di 13 MAN GBE “remote”.

Come indicato in figura 15, i PoP-LH sono interconnessi con due collegamenti POS STM-16 garantendo il reinstradamento automatico in caso di guasti. Il PoP-LH di Milano svolge la funzione di concentrazione del traffico dagli altri PoP di backbone e la connettività internazionale con Seabone.

L’interconnessione con OPB è realizzata a Roma e a Milano, su collegamenti GbE per servizi IP e di tipo SDH a 2,5 Gbit/s per servizi VPN-MPLS, attuando in questo caso le funzionalità “Inter-AS-VPN” per le sedi cliente Executive attestate in modalità “dual backbone”.

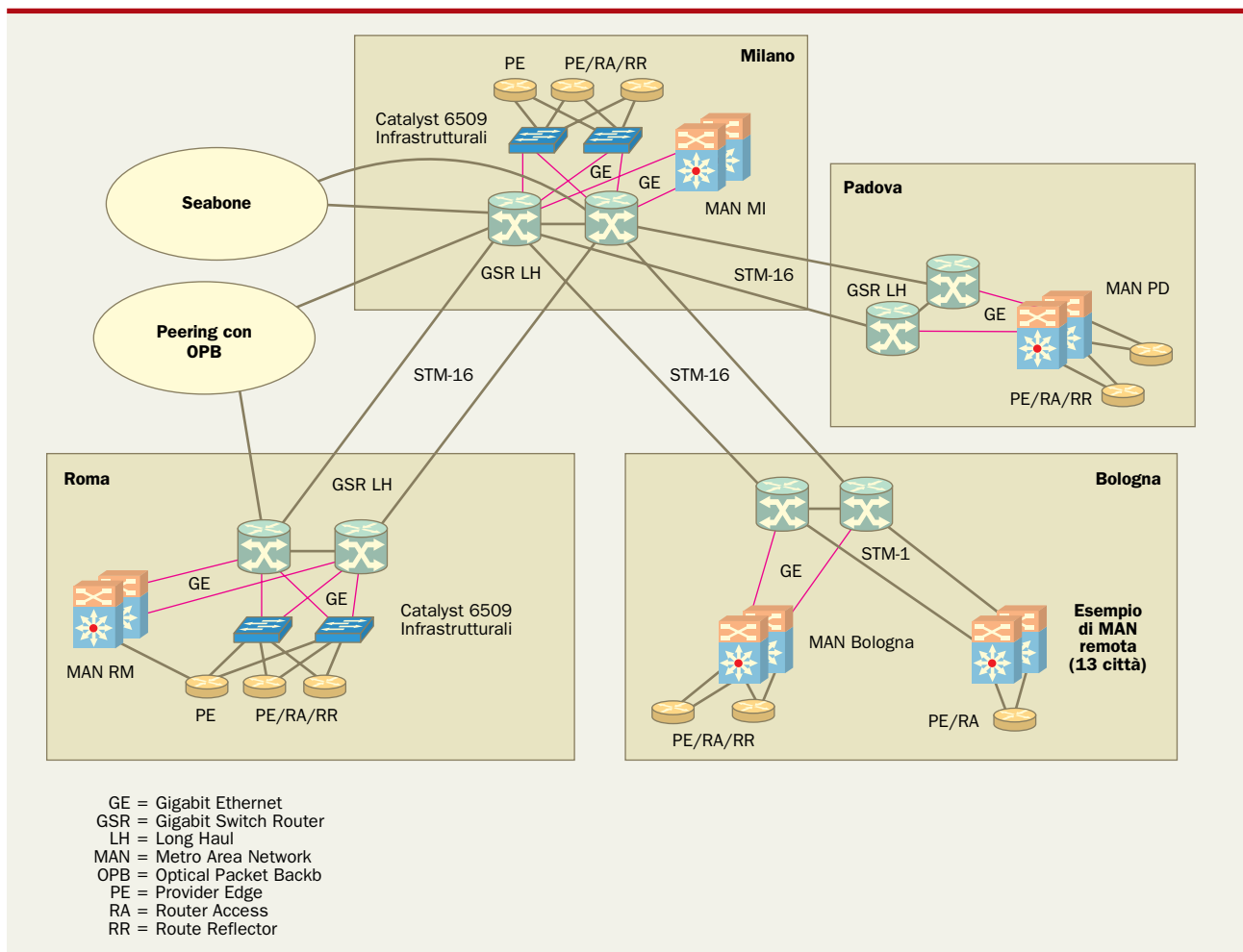


FIGURA 15 ▶ L’architettura attuale di DTC.

3.3 L’architettura della rete DTC

La rete Datacom offre alla clientela Executive servizi business legati anche ad applicazioni “mission critical” (banche, *trading on line...*), con connettività sia in rete privata (VPN-MPLS) che verso Internet.

Il backbone è costituito da un Inner Core di quattro PoP-LH (Point of Presence-Long Haul)

Nell’architettura attuale, ciascuna MAN è realizzata con due Router Cisco 7600 che svolgono funzionalità di Transit per i Servizi o Edge Full-Internet e VPN-MPLS, ad eccezione di Roma e Milano dove due coppie di GSR 12416 fungono da Transit per l’Edge locale.

Il routing del backbone Executive è fondato su due livelli:

- il protocollo IS-IS [15] è utilizzato per calcolare i percorsi che permettono di raggiungere gli

apparati di rete (in particolare le route verso le *loopback*);

- il protocollo iBGP è utilizzato per propagare le informazioni dei clienti (viene impostato come *next hop* la *loopback* dell'apparato di accesso). Tale soluzione combina i punti di forza dei due protocolli: la capacità di calcolare il percorso ottimo di IS-IS e la capacità di gestire con efficienza un elevato numero di route del BGP.

4. La Qualità del Servizio

La *Quality of Service (QoS)* nelle reti di telecomunicazioni è tipicamente riferita ad un insieme di parametri prestazionali osservabili e misurabili direttamente agli estremi dei punti di accesso di un servizio di trasporto dati. In questo contesto non si intende fare una trattazione generale sulla qualità del servizio in una rete di telecomunicazioni ma piuttosto dare una descrizione dei criteri, paradigmi e meccanismi di QoS applicati ed applicabili su un backbone dati.

I meccanismi a supporto della qualità di un servizio di trasporto di pacchetti, per un backbone, come quelli di Wireline, progettato con criteri di ridondanza di apparati e di collegamenti tra i nodi, entrano in gioco praticamente solo in condizioni di guasto, specialmente se questo è multiplo.

Il concetto di "Best Effort", ovvero il trasporto di pacchetti dati senza alcuna garanzia di ricezione nato nel periodo di gioventù di Internet, è stato largamente superato con le tecnologie oggi disponibili e da un'adeguata progettazione della rete.

Un backbone ben progettato, costituito da apparati Gigarouter, da collegamenti dorsali ad alta capacità ottici da 2,5 Gbit/s a 10 Gbit/s, con tempi di attraversamento nel singolo nodo sotto al millisecondo e con ritardi *end to end* tra due POP legati essenzialmente alla velocità trasmissiva della rete di trasporto sottostante, consente di fatto un servizio di trasporto di pacchetti di ottima qualità per tutti i servizi supportati. Le prestazioni tipiche per un backbone non eccessivamente esteso geograficamente come quelli OPB o DTC, sono quindi di qualche decina di millisecondi di ritardo *end to end* tra i PoP con un jitter minore del 50% sul ritardo *end to end*.

4.1 L'ortogonalità tra QoS e MPLS

A prescindere da considerazioni affidabilistiche, le funzionalità MPLS e la QoS sono praticamente "ortogonali": attivando MPLS non si ottengono cioè vantaggi in termini di prestazioni o di miglioramento della QoS.

La funzionalità di QoS, in accordo ai paradigmi di differenziazione della qualità dei servizi (modelli DiffServ), viene gestita grazie a politiche e meccanismi di accodamento (scheduling) dei pacchetti IP/MPLS nei buffer dei router, ovvero in uscita verso le interfacce ed in entrata verso la matrice del nodo; ciò vale indistintamente sia per il traffico IP che per quello imbustato via MPLS.

I suddetti meccanismi di scheduling entrano in gioco solo in caso di congestione interna al nodo, quale ad esempio la saturazione di un'interfaccia; ciò può accadere solo in caso di guasti in rete di tipo multiplo se si sono dimensionati i collegamenti in modo da non superare il 50% della capacità.

4.2 Criteri di implementazione della QoS su OPB

I principi generali che hanno guidato l'implementazione della QoS su OPB sono basati su criteri di semplicità, efficienza ed efficacia: il backbone deve, cioè, essere in grado di trasportare pacchetti/trame in grosse quantità e ad alta velocità, lavorando i volumi di traffico "all'ingrosso" e non il "bit" al "dettaglio", come invece è, in genere, richiesto all'area di Edge IP/MPLS. I punti di forza risiedono nell'utilizzo di adeguate tecnologie di switching e dimensionamento dei collegamenti infrastrutturali. Con questi criteri, apparentemente "banali", un backbone IP/MPLS offre prestazioni eccellenti.

Le stesse considerazioni devono essere applicate a tutti i criteri di progettazione, ivi compreso quello del piano di controllo e ciò ha comportato per la realizzazione di OPB:

- l'impiego di tecnologia di Gigarouter GSR, modello di punta della Cisco Systems per backbone IP;
- l'utilizzo di circuiti tutti di tipo SDH/DWDM, sempre dimensionati al massimo al 50% delle propria capacità;
- un Piano di controllo il più semplice e scalabile possibile.

In condizioni normali, ovvero in assenza di guasto, si fa principalmente affidamento sulla tecnologia interna del nodo Gigarouter, basata su una velocità di "switching" della matrice intorno ai 500 microsecondi ed una celerità di attraversamento del singolo nodo tipicamente dell'ordine del millisecondo.

In caso invece di congestione del nodo, ovvero in caso di guasti multipli in rete, entrano in gioco i classici meccanismi previsti nel modello *DiffServ (Differentiated Services)* standardizzati in ambito IETF [16, 17]. Il modello tratta unicamente gli aggregati di traffico e non interviene sui singoli flussi, quali quelli dei clienti o delle singole applicazioni. Il trattamento dei pacchetti, applicato all'interno del nodo, in base al valore IP Precedence del campo *ToS (Type of Service)* nell'intestazione dei pacchetti IP (o il valore *Experimental* nell'intestazione delle trame MPLS), è uguale per tutti i pacchetti appartenenti alla stessa classe ed è determinato dall'attribuzione di una determinata quantità di risorse riservata alla classe.

I Gigarouter implementano due meccanismi di QoS per la gestione delle risorse interne al nodo:

- il *Modified Deficit Round Robin (MDRR)*;
- il *Weighted Random Early Detection (WRED)*. L'algoritmo MDRR è utilizzato per la gestione delle code interne al router: su ogni coda può essere mappata una o più delle suddette classi di servizio e servita in modalità "round-robin".

Ad ogni coda viene assegnato un “peso” relativo differente, attraverso il quale è possibile assegnare una porzione di banda relativa ad ogni coda da utilizzare in caso di congestione. L'algoritmo MDRR supporta inoltre una gestione delle priorità nello smaltimento delle code (*Priority Queue*), in modo da rispondere ai requisiti di basso *delay* e *jitter* che richiede il traffico “sensibile al tempo”, come il traffico Voce su IP. L'implementazione prevede anche la modalità *SRT* (*Strict Real Time*) nella quale la coda è servita fino al completo svuotamento in modo da garantire il minimo ritardo temporale.

L'algoritmo WRED cerca di evitare la congestione delle code attuando uno scarto selettivo di pacchetti sulla base della priorità. Lo scarto dei pacchetti IP avviene al superamento di una certa soglia di occupazione del collegamento e con probabilità crescente in funzione del livello di occupazione. Il WRED inoltre gestisce la differenziazione delle soglie e delle probabilità di scarto in base alla classe di servizio, consentendo quindi la protezione del traffico più pregiato.

Attualmente, su OPB è stato implementato un profilo di QoS per tre tipologie di traffico:

- *Gold*, dedicato al traffico VoIP BBN marcato con IPPrec o Exp MPLS a 5;
- *Premium*, con pacchetti IP/MPLS marcati con IPPrec o Exp MPLS a 6, 7, 4, 2;
- *Default*, marcato a 0, 1, 3.

Il traffico VoIP su BBN, marcato con valore Exp MPLS pari a 5 nel Media Gateway, viene inserito nelle code interne SRT a bassa latenza dei GSR; tutto il resto del traffico viene invece inserito in due code MDRR dove, alla coda 1 è dato un peso MDRR equivalente all'80%, alla coda 0 di default il restante valore del 20% (figura 16). Per quanto riguarda il WRED, è stato scelto un modello “tail and drop”, con le stesse soglie per le varie classi di

servizio (campi IP Prec o Exp MPLS), all'interno delle code del Gigarouter. Questo profilo di QoS è stato attuato sia in ingresso alla matrice di commutazione interna del GSR che sulle code in uscita delle interfacce del nodo ed è configurato sui collegamenti interni al backbone e non verso le VLAN di Accesso. Riguardo alla coda SRT, come si è già detto, essa non è soggetta ai meccanismi Round Robin dell'algoritmo MDRR; in altre parole, questo vuol dire che i pacchetti o trame MPLS inserite nelle code SRT sono potenzialmente in grado di attingere al 100% delle risorse interne al nodo.

La cosa non è un problema nel caso che la percentuale di traffico mappato sulla coda SRT venga limitata in rete ad un valore “ragionevole”, ovvero un valore intorno al 10% (al massimo pari al 15%) della capacità di un generico circuito.

5. Impieghi per applicazioni Voce: Class 4/5

5.1 Progetto BBN Class4

Il progetto “BBN” è nato nel 2001 per sostituire il livello di trasporto a commutazione di circuito del traffico Voce, eliminando gli *SGT* (*Stadi di Gruppo di Transito*) con nodi di tecnologia innovativa, detti nodi “BBN” oppure “Class4” [1].

La prima attivazione è avvenuta tra Roma e Milano nell'agosto del 2002 ed è proseguita nei mesi successivi con il graduale ribaltamento del traffico telefonico sui nuovi nodi. I requisiti del progetto BBN hanno richiesto al backbone OPB un servizio di trasporto il più possibile simile ad una interconnessione “trasmissiva”, attuato in un ambiente “chiuso”. A tale scopo, i Media Gateway di BBN usufruiscono di una struttura di tunnel MPLS-TE che ha fondamentalmente il compito di creare un piano di controllo e di *forwarding* completamente separato rispetto all'universo “Pubblico”.

In questo contesto per ambiente “Pubblico” si intende la possibilità di raggiungere a livello IP tutti le tipologie dei Clienti o gli elementi di Edge (Router di Accesso, NAS ADSL e *dial up*) nelle reti di backbone ed in generale su Internet attraverso Seabone ed i Peering Privati e Pubblici. Un buon esempio di implementazione di un Piano “Privato”, completamente indipendente da quello Pubblico, è quello delle reti Private Virtuali MPLS (VPN MPLS), dove soltanto un gruppo ristretto di apparati e host di Clienti possono comunicare fra loro a livello geografico.

Le reti VPN MPLS sono supportate da funzionalità di transito MPLS (dette funzionalità “P”) sui backbone OPB e DTC, mentre le componenti di servizio sono configurate sui *PE* (*Provider Edge*) MPLS, attestati alle VLAN di Accesso.

Il progetto Class4 in definitiva ha comportato (figura 17):

- la realizzazione di una maglia completa di tunnel MPLS-TE su 23 PoP di OPB, per un totale di circa 2.000 tunnel;

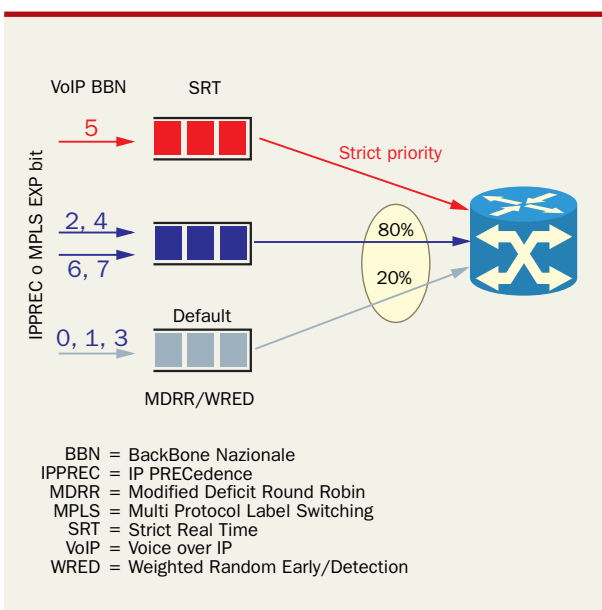


FIGURA 16 ▶ La configurazione QoS delle code sui GSR.

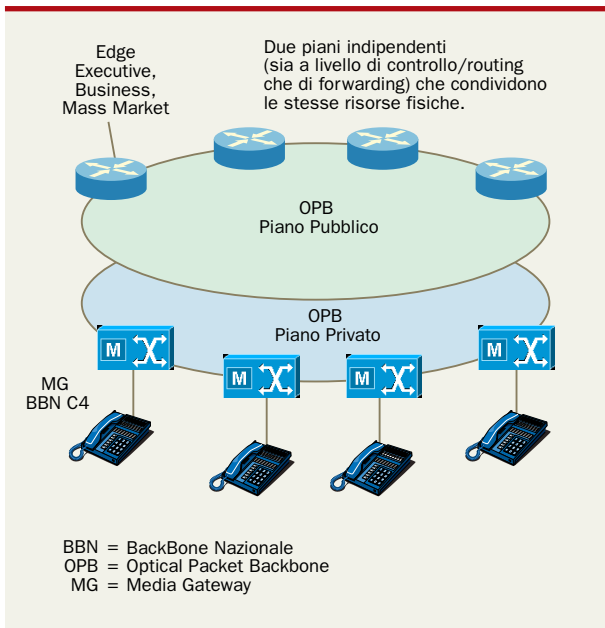


FIGURA 17 Il Piano Pubblico e Privato di OPB.

- la configurazione di un piano di indirizzamento stabilito a priori per un'architettura dimensionata a regime, con una /16 o classe B per PoP, dove gli indirizzi da 10.0.0.0 a 10.30.0.0 sono stati assegnati a BBN Class4;
- l'attivazione di un routing statico su classi private, le quali non vengono annunciate in BGP o OSPF. Per una maggiore sicurezza, sono stati anche implementati sugli apparati Edge di OPB dei meccanismi, controllati sui RR BGP, per lo scarto di pacchetti IP con indirizzamento privato che dovessero tentare di superare i confini di OPB.

Nella figura 18 viene illustrata, per grandi linee, l'architettura di un generico nodo BBN e soprattutto le sue connessioni con gli apparati GSR di OPB.

Il nodo BBN Class4 è collegato ad OPB tramite due tipologie di collegamenti:

- ATM STM-1, per l'interconnessione con i MGW costituiti dalla schede VISM dei nodi MGX;
- GbE, per la visibilità delle parti di controllo/segnalazione del nodo.

Un generico pacchetto IP, con indirizzo di destinazione appartenente alla classe IP Privata assegnata al PoP BBN di destinazione viene imbustato dal Media Gateway in un PVC ATM, terminato in uno dei due GSR di OPB, ed infine ruotato tramite una statica nei

due tunnel MPLS-TE che terminano nei due GSR presenti nel PoP BBN di destinazione.

Questa architettura di Tunnel MPLS-TE è risultata efficace ed adatta ad interconnettere nodi BBN in un struttura di servizio statica e predefinita.

Negli ultimi tempi tuttavia stanno emergendo nuovi servizi che richiedono delle strutture più dinamiche, aperte dal punto di vista della raggiungibilità IP e soprattutto non predefinite come quella del BBN Class4. Sono state, quindi, studiate e sono in corso di implementazione su OPB nuove soluzioni basate su routing "classico" via OSPF e BGP che per loro natura sono più dinamiche e scalabili, come verrà meglio chiarito nel prossimo paragrafo.

5.2 Progetti Class5 ed interconnessione PEB-BBN

I nuovi progetti richiedono l'apertura graduale dei nodi BBN all'ambiente IP pubblico in quanto alcune risorse dei Media Gateway BBN dovranno essere raggiunte potenzialmente da qualsiasi apparato di accesso o terminale di utente che utilizza indirizzi pubblici; ciò accade per i progetti di tipo Class5, ed anche per l'interconnessione IP con la rete VoIP di Sparkle, il PEB (Pan European Backbone) che utilizza indirizzi pubblici della rete Seabone.

L'apertura all'ambiente pubblico IP è indispensabile per introdurre una serie di nuovi servizi di comunicazione telefonica sia per la clientela Business che Residenziale.

I servizi di comunicazione di tipo Class5 prevedono una nuova tipologia di piattaforma di controllo centralizzata per servizi telefonici e multimediali, principalmente per la segnalazione a supporto dell'instaurazione di un canale di comunicazione (voce o video) su IP.

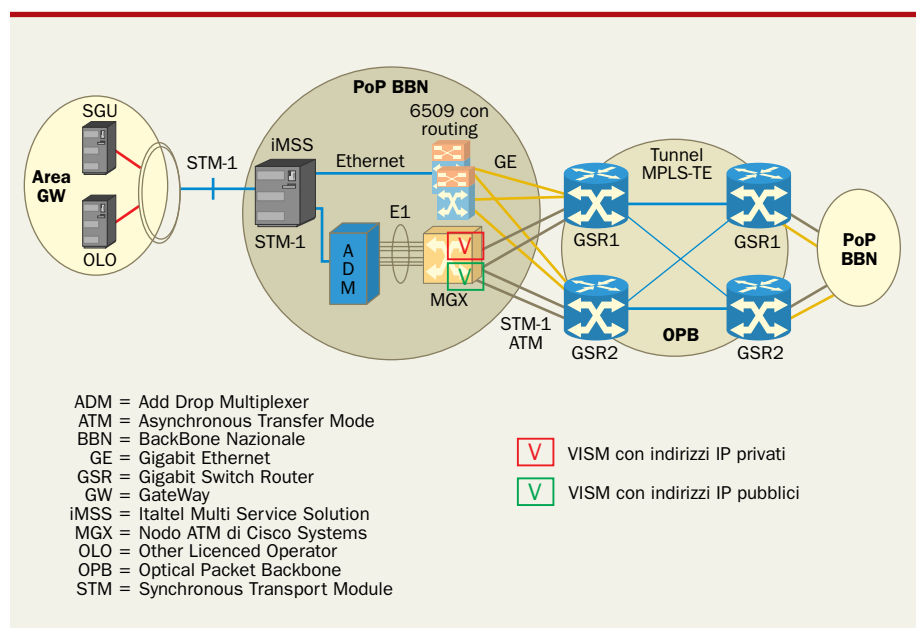


FIGURA 18 L'architettura di un PoP BBN.

Due sono i possibili scenari di comunicazione:

- tra clienti/applicazioni, oppure tra elementi di rete detti "Border Gateway", o "Access Gateway" tutti appartenenti al piano IP Pubblico e collegati quindi alle strutture di Accesso/Edge di OPB;
- tra un cliente appartenente al piano IP Pubblico ed un cliente del mondo legacy TDM, attestato quindi ad una centrale di commutazione urbana tradizionale raggiungibile, telefonicamente tramite un nodo BBN Class4. Questi nodi Class5, in numero contenuto e centralizzato, saranno attestati direttamente ai GSR di OPB nei quattro PoP di Inner Core, secondo una modalità molto simile a quella dei nodi Class4. Lo schema di interconnessione con OPB viene mostrato nella figura 19, dove le schede VISM del Media Gateway ed alcune strutture interne al nodo dovranno essere necessariamente configurate con indirizzi IP pubblici.

Per quanto riguarda il routing, è previsto che vengano utilizzati i protocolli OSPF e BGP, secondo quanto previsto nel *routing standard*:

- il routing iBGP 3269 per propagare su OPB gli annunci aggregati delle reti pubbliche delle schede VISM e della componente interna Pubblica del nodo, tramite configurazione e distribuzione di rotte statiche sui transiti di OPB;
- il routing OSPF 3269 per garantire la raggiungibilità dei next-hop degli annunci iBGP che corrispondono alle LB (Loop Back) dei due GSR.

I nuovi servizi VoIP prevedono che un cliente o applicazione, attestato ad un generico apparato di Edge di OPB sul piano Pubblico, abbia "visibilità" a

livello IP dei Media Gateway (schede VISM) dei nodi Class4 di BBN; in altri termini, si rende necessario mettere in qualche modo in comunicazione i due universi (Pubblico e Privato), come schematizzato nella figura 20.

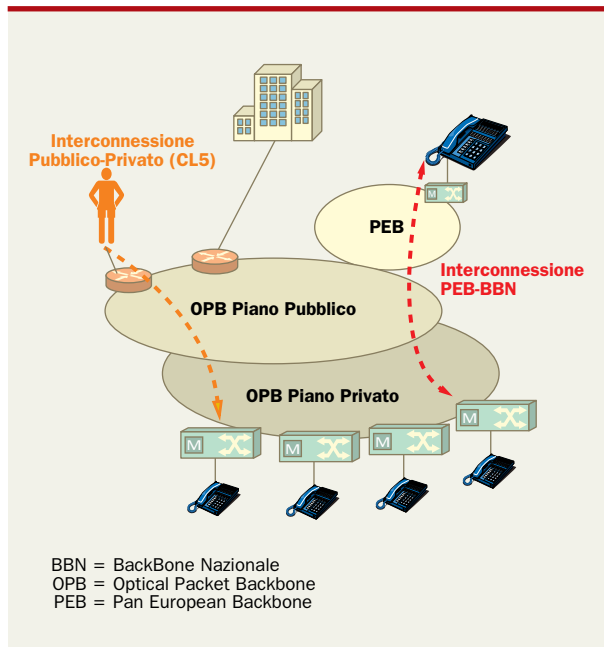


FIGURA 20 Schematizzazione dell'interconnessione tra il Piano Pubblico e il Piano Privato.

Dal punto di vista concettuale, ciò può essere fatto fondamentalmente in due modi: facendo diventare pubbliche almeno parte delle risorse del piano Privato (in modo da diventare automaticamente visibili in tutta la rete), oppure inserendo degli elementi di confine tra i due universi (detti "Border Gateway"), con il preciso scopo di metterli in comunicazione.

Per quanto riguarda lo specifico scenario di BBN Class4, è stato deciso di configurare parte delle schede VISM dei Media Gateway con indirizzi pubblici IP.

Inizialmente questo paradigma porterà ad una nuova configurazione ed installazione di un numero limitato di schede VISM nei Media Gateway dei 24 PoP BBN.

L'inserimento verrà poi gradualmente guidato dalla numerosità della clientela/servizi sul piano pubblico che hanno la necessità di comunicare con il mondo TDM tradizionale, ricordando che "dietro" ai nodi BBN Class4 vi sono i bacini di raccolta TDM tramite gli SGU tradizionali.

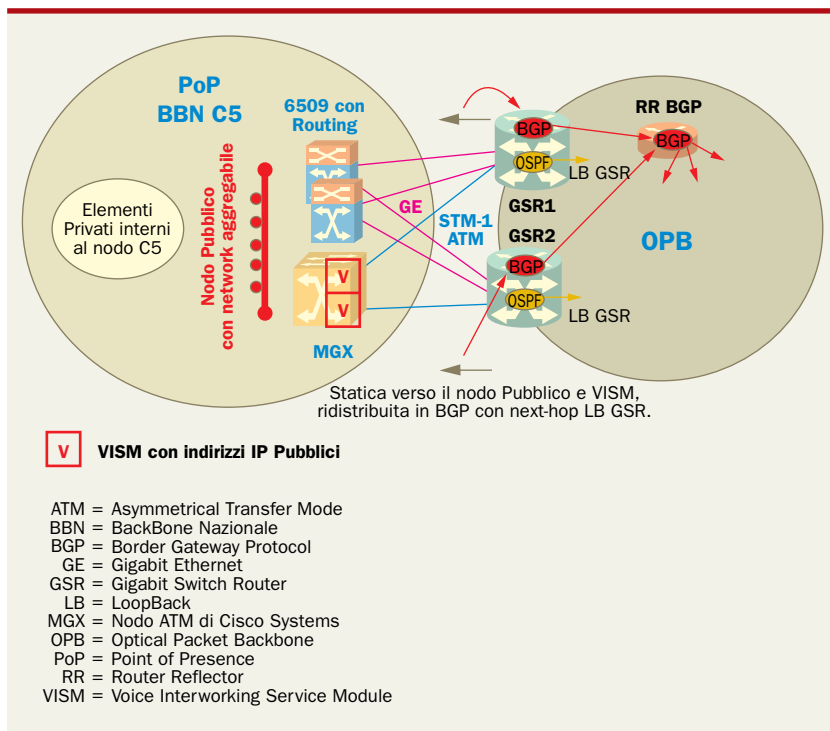


FIGURA 19 Interconnessione di un PoP BBN C5 a OPB.

Per il routing delle schede VISM pubbliche, è adottata la stessa soluzione Class5, dove gli aggregati delle reti pubbliche delle schede VISM sono annunciati in iBGP attraverso la distribuzione di statiche.

Per i servizi VoIP a livello internazionale, l'Upstream Provider Sparkle ha implementato sul backbone Seabone un'architettura di rete di trasporto VoIP analoga a quella del BBN, denominata *PEB (Pan European Backbone)*.

Le schede VISM dei Media Gateway del PEB sono dotate di un indirizzamento IP pubblico e quindi automaticamente visibili per qualsiasi cliente della rete.

Nell'interconnessione tra le due piattaforme PEB-BBN, una chiamata telefonica tra un cliente legacy del dominio nazionale viene prima trattata dallo SGU (Stadio di Gruppo Urbano) della rete telefonica tradizionale di competenza, poi dal nodo BBN e, dopo il transito sul piano pubblico sui due backbone IP OPB e Seabone, viene trattata dal nodo PEB Class4 ed in ultimo passata allo SGU internazionale. I meccanismi di QoS sul Backbone SEABONE sono analoghi a quelli di OPB, sia per quanto riguarda il valore di IP Precedence che delle code Strict-Real-Time dei GSR.

6. Conclusioni

In questo articolo è stata presentata la piattaforma di trasporto pubblica IP/MPLS di Telecom Italia Wireline, nel contesto dei servizi da esso offerti, dell'evoluzione architetturale, della Quality of Service ed infine delle applicazioni VoIP.

I successi dei servizi voce, video e dati di oggi e di domani vanno di pari passo con l'elevata qualità dei livelli di servizio che un backbone dati può garantire.

Uno di questi è stato raggiunto l'anno scorso nell'ambito della Fonia su IP, offrendo un servizio di trasporto geografico tra i Media Gateway BBN con garanzie di elevata protezione, sicurezza e trattamento ai possibili casi di guasto o congestione della rete.

Altri non meno importanti traguardi sono stati e saranno raggiunti grazie ad una attenta progettazione delle architetture fisiche e di routing, all'adozione di semplici paradigmi per l'attestazione di apparati di accesso al backbone ed alla condivisione con tutti gli ISP di politiche generali nei punti di peering pubblici e privati.

— ABBREVIAZIONI

ADSL	Asymmetrical Digital Subscriber Line
AS	Autonomous System
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BGP	Border Gateway Protocol
BBN	Backbone Nazionale
DTC	Datacom
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
eBGP	external Border Gateway Protocol
FE	Fast Ethernet
GE	Gigabit Ethernet
GSR	Gigabit Switch Router
GW	Gateway
GW-ITZ	Gateway Internazionale
iBGP	internal Border Gateway Protocol
IBS	InterBusiness
IETF	The Internet Engineering Task Force
IGMP	Internet Group Management Protocol
IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Service Digital Network
LIS	Logical IP Subnet
LH	Long Haul
MAN	Metro Area Network
MDRR	Modified Deficit Round Robin
MGX	Nodo ATM di Cisco Systems
MP-BGP	MultiProtocol BGP
MPLS	Multi Protocol Label Switching
MPLS-TE	Multi Protocol Label Switching-Traffic Engineering
NAS	Network Access Server
NSSA	Not-so-stubby Area
OPB	Optical Packet backbone
OSPF	Open Shortest Path First
OTN	Optical Transport Network
PE	Provider Edge
PEB	Pan European Backbone
POS	Packet Over SDH
PoP	Point of Presence
QoS	Quality of Service
RA	Router Access
RR	Router Reflector
SEABONE	South European Access Backbone
SGT	Stadio di Gruppo di Transito
SGU	Stadio di Gruppo Urbano
SRM	Strict Priority Mode
TCP	Transport Control Protocol
TDM	Time Division Multiplexing
TOS	Type Of Service
VISM	Voice Interworking Service Module
VoIP	Voice over IP
VPN	Virtual Private Network
WRED	Weighted Random Early Detection

— BIBLIOGRAFIA

- [1] Fratianni, Lalli, Lamberti, Langellotti, Moretti, Scrittore: "Il backbone IP per i servizi telefonici". <Notiziario Tecnico Telecom Italia>, anno 13, n. 1, giugno 2004, pp. 56-73
- [2] Pagnan, Picciano, Langellotti: "Il nuovo backbone ottico di Telecom Italia". <Notiziario Tecnico Telecom Italia>, anno 11, n. 2, settembre 2002, pp. 55-74
- [3] Montechiarini: "I servizi IP di Telecom Italia: l'offerta per i clienti affari". <Notiziario Tecnico Telecom Italia>, anno 8, n. 3, dicembre 1999, pp. 44-56
- [4] IETF RFC 3031: Multiprotocol Label Switching Architecture
- [5] IETF RFC 3032: MPLS Label Stack Encoding
- [6] IETF RFC 2702: Requirements for Traffic Engineering Over MPLS
- [7] IETF RFC 2328: PPP over SONET/SDH
- [8] IETF RFC 2328: OSPF Version 2
- [9] IETF RFC 2858: Multiprotocol Extensions for BGP-4
- [10] IETF RFC 1771: A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4)
- [11] IETF RFC 1966: BGP Route Reflection: An alternative to full mesh iBGP
- [12] IETF RFC 2362: Protocol Independent Multicast-Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification
- [13] IETF RFC 3618: Multicast Source Discovery Protocol (MSDP)
- [14] IETF RFC 2236: Internet Group Management Protocol, Version 2
- [15] IETF RFC 1195: Use of OSI IS-IS for Routing in TCP/IP and Dual Environments
- [16] IETF RFC 2475: An Architecture for Differentiated Services
- [17] IETF RFC 3260: New Terminology and Clarifications for DiffServ



Alberto Maria Langellotti si è laureato nel 1991 presso l'Università di Roma. È entrato in SIP nello stesso anno nell'area Rete. Dopo l'anno di corso di specializzazione presso la Scuola Superiore SSGRR di L'Aquila ha lavorato, nell'ambito della Rete, nelle linee di Ricerca e Sviluppo, Tecnologie ed Architetture, Ingegneria delle Reti Dati, Ingegneria dei Servizi e nell'attuale Network Services, dove ha partecipato a progetti sulla multimedialità, l'ADSL e servizi IP per la clientela Business e Residenziale. Dal 2000 si occupa del Backbone IP/MPLS ed attualmente è responsabile della funzione "Trasporto ed OPB".



Simeone Mastropietro si è laureato con lode in Ingegneria Elettronica presso l'Università degli Studi di Roma "La Sapienza" nel 2000 con una tesi sperimentale sulle Reti IP *DiffServ*. Nel corso dello stesso anno ha collaborato con il Co.Ri.Tel nell'ambito del progetto europeo AQUILA imperniato sull'analisi e sulle tecniche per il provisioning della qualità di servizio nelle reti IP/MPLS. Alla fine dello stesso anno è entrato in Telecom Italia occupandosi sin dall'inizio del nascente *Optical Packet Backbone (OPB)*. La sua attività è stata principalmente focalizzata sugli aspetti di routing (BGP ed OSPF) e del protocollo MPLS. Nel corso del 2003 ha fatto parte del gruppo di lavoro RT4Sec. Ha avuto anche collaborazioni con partecipate estere (Entel Bolivia, Etecssa Cuba) e con Global Network (Progetto Hansenet).



Federico Tito Moretti si è laureato in Ingegneria Elettronica presso l'Università degli studi di Roma "La Sapienza" nel 1995 con una tesi sperimentale nel campo dell'Optoelettronica. Dopo aver conseguito il Master TLC presso la Scuola Superiore di Specializzazione in Telecomunicazioni del Ministero PT, nel 1996 è entrato in Telecom Italia occupandosi di specifiche, gare e collaudi dei sistemi di supervisione e controllo della rete di accesso a larga banda. Dal 2000 ha svolto attività di industrializzazione e *network monitoring* della rete di trasporto SDH/DWDM e, a partire dal 2002, presso l'attuale funzione Network Services, si occupa dell'industrializzazione del Backbone IP/MPLS (OPB).



Antonio Soldati si è laureato in Ingegneria Elettronica presso l'Università "La Sapienza" di Roma, è in Telecom Italia dal 1991. Dopo il corso di perfezionamento in Telecomunicazioni presso la Scuola Superiore SSGRR di L'Aquila, ha ricoperto vari incarichi nell'area della Ricerca e Sviluppo prima e, in seguito, delle Tecnologie e Architetture. Dal 2000 opera nell'ambito dell'Ingegneria dei Servizi (oggi Network Services), dove attualmente coordina le attività di Ingegneria delle reti di Backbone IP.